



Universidade Técnica de Lisboa
Faculdade de Arquitectura

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DA ALVENARIA ESTRUTURAL
(Unidade Cerâmica)

Soheyl Sazedj

Tese de Doutoramento em Arquitectura, na Especialidade de Tecnologia
e Gestão da Construção

Orientador Professor associado Doutor António José Morais
Universidade Técnica de Lisboa

Co-orientador Professor catedrático aposentado Doutor Said Jalali
Universidade de Minho

Maio de 2012

Júri:

Presidente: Reitor da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais: Doutor Said Jalali
Professor catedrático aposentado
Escola de Engenharia da Universidade do Minho

Doutor Alberto Cruz Reaes Pinto
Professor catedrático
Universidade Lusitana de Lisboa

Doutor José Antero Senra Vieira de Lemos
Investigador coordenador
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Doutor Paulo Jorge Figueira Almeida Urbano Mendonça
Professor associado
Escola de Arquitectura da Universidade do Minho

Doutor António José Morais
Professor associado
Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa

Doutor João Pedro do Carmo Fialho
Professor auxiliar
Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa

Doutora Maria da Graça Xavier da Fonseca e Costa Bachmann
Professor auxiliar
Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa



Universidade Técnica de Lisboa
Faculdade de Arquitectura

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DA ALVENARIA ESTRUTURAL

(Unidade Cerâmica)

Soheyl Sazedj

Tese de Doutoramento em Arquitectura, na Especialidade de Tecnologia
e Gestão da Construção

Orientador Professor associado Doutor António José Morais

Universidade Técnica de Lisboa

Co-orientador Professor catedrático aposentado Doutor Said Jalali

Universidade de Minho

Maio de 2012

Júri:

Presidente: Reitor da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais: Doutor Said Jalali
Professor catedrático aposentado
Escola de Engenharia da Universidade do Minho

Doutor Alberto Cruz Reaes Pinto
Professor catedrático
Universidade Lusíada de Lisboa

Doutor José Antero Senra Vieira de Lemos
Investigador coordenador
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Doutor Paulo Jorge Figueira Almeida Urbano Mendonça
Professor associado
Escola de Arquitectura da Universidade do Minho

Doutor António José Morais
Professor associado
Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa

Doutor João Pedro do Carmo Fialho
Professor auxiliar
Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa

Doutora Maria da Graça Xavier da Fonseca e Costa Bachmann
Professor auxiliar
Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa

Agradecimento

Começo por agradecer ao meu orientador, Professor Associado António Morais, por ter aceite este desafio de trabalhar comigo e também pelo seu apoio incansável na elaboração desta dissertação.

Do mesmo modo gostaria de agradecer ao meu co-orientador, Professor Catedrático Said Jalali, pelo seu apoio e contributo científico. Agradeço também o auxílio na escolha deste tema, que desde sempre me intrigou, e cuja investigação adjacente me proporcionaram uma grande alegria e satisfação.

Gostaria também de agradecer ao Professor Catedrático Jorge Novais Telles Faria Corrêa Bastos as correcções e afinações finais.

Dirijo, ainda, um profundo agradecimento ao Professor Catedrático Jorge Cruz Pinto pelo seu encorajamento e aconselhamento que me levaram a embarcar neste desafio.

À minha filha Sharmin, mestrada em Economia, um agradecimento pelo contributo na elaboração do capítulo 4.3 sobre o enquadramento económico.

E finalmente, aproveito esta oportunidade, para agradecer a paciência excepcional da minha esposa, Fereshteh, que aguentou dois anos de trabalho intensivo para que pudesse finalizar este trabalho.

Resumo

Alvenaria estrutural é uma antiga técnica de construção que há já algumas décadas perdeu importância em Portugal. A razão não é bem clara, embora a actividade sísmica em Portugal seja condicionante e, por outro lado, a flexibilidade da construção em betão armado. Noutros países Europeus a alvenaria estrutural, nomeadamente com blocos cerâmicos, continua a ser utilizada correntemente. No âmbito de uma construção sustentável esta investigação procura justificar que até a uma certa dimensão dos edifícios, a utilização de blocos cerâmicos estruturais é sustentável e compatível, designadamente quando comparada com o sistema convencional de estrutura reticulada de betão armado. A solução construtiva em alvenaria assegura ou melhora a qualidade da vida, o conforto ambiental e o bem estar dos utilizadores destes edifícios, contribui para o ambiente, bem como incrementa a economia e o emprego.

Abstract

Structural masonry is an old construction technique that has lost in Portugal its importance in the last decades. The reason is not quite clear despite of two facts, first the seismic activities that are conditional in Portugal and second, by the flexibility of structural concrete that facilitates the construction. However, in other European countries structural masonry, particularly clay bricks find their use. Under the sustainable construction concept this study shows that until a certain dimension of buildings the use of structural clay bricks can be sustainable and compatible as compared with concrete structures. The solution masonry improves the quality of life and the comfort in the habitat and the well being of all users in these buildings. It contributes to the environment, strengthens the economy and the employment-ship.

Índice

1.	Introdução: Sustentabilidade na Construção	17
1.1	Desenvolvimento Sustentável	17
1.2	O Papel dos Materiais de Construção	18
1.3	Análise da Sustentabilidade	22
2.	Objectivo e Metodologia de Estudo	25
2.1	Objectivos gerais	25
2.1.1	Estudo e Selecção dos Parâmetros	25
2.1.2	Análise Ambiental e Económica	26
2.2	Objectivo específico: Edifícios Típicos	26
2.3	Metodologia	27
2.3.1	Estudo de Caso, da Ecologia dos Materiais de Construção e Recolha de Dados	27
2.3.2	Desenvolvimento do Estudo	27
2.3.3	Definição de Modelo e as Unidades Funcionais	28
2.3.4	Quantificação dos Parâmetros de Avaliação de Estruturas em Alvenaria e em Betão Armado	30
2.3.4.1	Avaliação da Estabilidade	30
2.3.4.2	Avaliação Ambiental e Ecológico	30
2.3.4.3	Avaliação Económica e Social	31
2.3.5	Comparação dos dois Modelos Construtivos	31
2.3.6	Estudo de Caso Definição e Análise de Edifícios Tipo	31
2.3.7	Resumo e “ <i>Checklist</i> ”	32
3.	Estado de Arte	35
3.1	História	35
3.2	Aspectos Ambientais	43
3.2.1	Bloco Cerâmico	43
3.2.2	Transporte	50
4.	O Modelo Paramétrico e as Unidades Funcionais	53
4.1	Análise Estrutural	56

4.1.1	Alvenaria	57
4.1.2	Betão Armado	65
4.1.3	Comparação do Dimensionamento Estrutural das Duas Soluções	66
4.2	Análise Ambiental	66
4.2.1	Comparação dos Resultados das Unidades Funcionais	74
4.2.2	Análise das Emissões de CO ₂ no Edifício Modelo	79
4.2.3	Análise da Energia Incorporada no Edifício Modelo	83
4.2.4	Análise Orçamental de Edifício Modelo	86
4.3	Análise Económica	97
5.	Aplicação dos Resultados nos Edifícios Típicos da Análise	105
5.1	O Estudo Estrutural	111
5.1.1	Análise dos Edifícios Modelo em Construção Convencional	112
5.1.2	Análise dos Edifícios Modelo em Alvenaria Estrutural	119
5.1.3	Comparação dos Modelos nas duas Soluções	121
5.2	O Estudo Ambiental	127
5.3	Verificação dos Limites Geométricos para os Edifícios Típicos	135
5.4	Durabilidade	141
6.	Conclusão Trabalhos Futuros	143
7.	Bibliografia	147
	Anexos	
A	Instituições	155
B	Análise estrutural de edifício modelo em alvenaria (bloco cerâmico)	157
C	Análise estrutural de edifício modelo em construção convencional	179
D	Verificação térmica	213
E	Quantificação da sustentabilidade de Alvenaria Estrutural	247
F	Quantificação da sustentabilidade na construção convencional	267
G	Quantificação dos materiais de construção, da energia incorporada e da emissão de CO ₂ nas varias hipóteses do edifício modelo	273
H	“Análise de ciclo de vida”	311

Índice de Tabelas

TABELA 1: Dados Europeus de RCD	20
TABELA 2: Consumo específico de energia (GJ/tonelada) – Indústria de tijolos e telhas	47
TABELA 3: Comparação de características de alguns tijolos de mercado	49
TABELA 4: Dados típicos de vários materiais de construção	50
TABELA 5: Comparação de materiais estruturais em termos de energia primaria incorporada e a emissão de CO ₂ na produção.	50
TABELA 6: Emissão de CO ₂ associada aos transportes com camiões	51
TABELA 7: Emissão e consume de energia primária de diversos meios de transporte	51
TABELA 8: Tijolo Cerâmico Maciço, Categoria II - HD, segundo NP EN 771-1:2005, e Grupo 1, segundo EC 6, NP ENV 1996-1-1:2000, dados de fabricante	59
TABELA 9: Tijolo Cerâmico Face a Vista Klinker/Gres, Categoria II - HD, segundo NP EN 771-1:2005, e Grupo 2a	60
TABELA 10: Tijolo Termoargilla, Grupo 2b, segundo EC 6, dados de fabricante	61
TABELA 11: Comparação dos dados para piso 3	62
TABELA 12: Propriedades dos blocos cerâmicos escolhidos	64
TABELA.13, Comparação das massa em kg	66
TABELA 14, Comparação das características estruturais do edifício modelo nas duas versões construtivas	67
TABELA 15, Comparação das quantidades dos materiais de construção por elementos construtivos	67
TABELA 16, Comparação de consumo de energia e emissão de CO ₂ no fabrico da unidade cerâmica	69
TABELA 17, Comparação de consumo de energia e emissão de CO ₂ no fabrico do Cimento	70
TABELA 18, Comparação de consumo de energia e emissão de CO ₂ no fabrico do Betão	71
TABELA 19, Comparação de consumo de energia e emissão de CO ₂ no fabrico de armadura em aço	73
TABELA 20, Emissões de CO ₂ (kg CO ₂ / Unidade Funcional)	75
TABELA 21, Diferença das emissões de CO ₂ (kg CO ₂) para as duas opções estruturais	75

TABELA 22, Energia incorporada (MJ) nas Unidades Funcionais	76
TABELA 23, Energia incorporada (MJ / Unidade Funcional)	76
TABELA 24, Comparação das diferenças entre as duas soluções construtivas para a emissão de CO ₂ e a energia incorporada	76
TABELA 25, Emissões de CO ₂ (kg CO ₂ / Unidade Funcional)	77
TABELA 26, Emissões de CO ₂ (kg CO ₂ / Unidade Funcional)	77
TABELA 27, Energia incorporada (MJ / Unidade Funcional)	78
TABELA 28, Energia incorporada (MJ / Unidade Funcional)	78
TABELA 29, Comparação das diferenças entre as duas soluções construtivas para a emissão de CO ₂ e a energia incorporada	79
TABELA 30, Comparação de emissões de CO ₂ (kg CO ₂) na produção e transporte dos elementos de construção	81
TABELA 31, Comparação de emissões de CO ₂ (kg CO ₂), percentagem de emissões por material	82
TABELA 32, Resumo de comparação de emissões de CO ₂ (kg CO ₂)	82
TABELA 33, Comparação de emissões de CO ₂ por m ² da área de construção (kgCO ₂ /m ²)	82
TABELA 34, Comparação de energia incorporada (MJ)	84
TABELA 35, Comparação de energia incorporada (MJ), percentagem do consumo de energia por material e por o consumo total da fabricação dos materiais	85
TABELA 36, Resumo de comparação de energia incorporada (MJ)	85
TABELA 37, Comparação de energia incorporada por área de construção (MJ/m ²)	86
TABELA 38, Comparação dos custos por unidades funcionais (Euro)	87
TABELA 39, Quantidade de alvenaria e betão armado para as unidades funcionais na solução construção convencional	88
TABELA 40, Comparação das massas dos materiais de construção de edifício modelo	89
TABELA 41, Comparação dos custos dos materiais de construção	89
TABELA 42, Comparação de custos de construção de edifício modelo	90
TABELA 43, Orçamento de mão-de-obra de fundação e piso 1	93
TABELA 44, Orçamento de mão-de-obra de piso 2	93
TABELA 45, Comparação de custos de mão-de-obra por piso e actividade, fundação + piso 1 (euro)	94
TABELA 46, Comparação de custos de mão-de-obra por piso e actividade, piso 2 (euro)	95

TABELA 47, Comparação de duração de obra e recursos humanos para piso 1 e piso 2 (Euro)	95
TABELA. 48, Comparação dos parâmetros de edifício modelo	95
TABELA 49, Comparação dos parâmetros de edifício modelo	96
TABELA 50, Edifícios concluídos para Habitação Familiar, 2001 - 2009	98
TABELA 51, Estimativa do PIB	99
TABELA 52, Comparação das áreas de construção e úteis nos diferentes modelos	108
TABELA 53, Comparação das áreas das fachadas nos edifícios diferentes	110
TABELA 54, Construção Convencional - Comparação de quantidade de material de construção de edifícios modelo	114
TABELA 55, Construção Convencional - Quantidade de pilares nos edifícios modelo	115
TABELA 56, Construção Convencional - Edifícios 2 e 3 - Comparação de quantidade de material de construção	116
TABELA 57, Construção Convencional - Comparação de factor múltiplo da quantidade de material nos diferentes modelos em relação ao Edifício 1 (m^3/m^3)	117
TABELA 58, Alvenaria Estrutural - Quantidade de material de construção de edifícios modelo	119
TABELA 59, Alvenaria Estrutural - Comparação das áreas e paredes para os Edifícios 2 e 3	120
TABELA 60, Alvenaria Estrutural - Comparação de factor múltiplo de quantidade de material de construção nos edifícios modelo em relação ao Edifício 1	120
TABELA 61, Construção Convencional vs. Alvenaria Estrutural - Comparação de quantidade de material de construção de edifícios modelo	122
TABELA 62, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de quantidade de material (M)	123
TABELA 63, Construção Convencional vs. Alvenaria Estrutural - Comparação de factor múltiplo de quantidade de material de construção para os diferentes modelos	126
TABELA 64, Construção Convencional - Comparação de emissões de CO ₂ de construção de edifícios modelo	127
TABELA 65, Construção Convencional - Quantidade de energia incorporada de construção de edifícios modelo	128
TABELA 66, Alvenaria Estrutural - Quantidade de emissões de CO ₂ de construção de edifícios modelo	128
TABELA 67, Alvenaria Estrutural - Quantidade de consumo de energia de construção de edifícios modelo	129

TABELA 68, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de emissões de CO ₂ na construção de edifícios modelo	129
TABELA 69, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de consumo de energia de construção de edifícios modelo	129
TABELA 70, Construção Convencional - Quantidade de emissões de CO ₂ de edifícios modelo	130
TABELA 71, Alvenaria Estrutural - Comparação de emissões de CO ₂ de edifícios modelo	131
TABELA 72, Construção Convencional - Quantidade de energia incorporada nos edifícios modelo	132
TABELA 73, Alvenaria Estrutural - Comparação de energia incorporada nos edifícios modelo	132
TABELA 74, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de indicadores de emissões de CO ₂ de construção de edifícios modelo	133
TABELA 75, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de indicadores de consumo de energia de construção de edifícios modelo	133
TABELA 76, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de indicador de emissões de CO ₂ por área útil de construção de edifícios modelo	134
TABELA 77, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de indicador de consumo de energia por área útil de construção de edifícios modelo	134
TABELA 78, Altura limite de paredes em alvenaria estrutural com a espessura de t=29 cm, contraventadas conforme com a Figura 61	137
TABELA 79, Altura limite de paredes de alvenaria estrutural com a espessura de t=60 cm, contraventadas conforme com a Figura 61	140

Índice de Figuras

FIGURA 1: Ctesiphone, Iraq, Palácio de Império Sassânida, ~200 AC	35
FIGURA 2: Mesquita Vakil, Xiraz, 1773	37
FIGURA 3: Habitação típica tradicional na Irão	36
FIGURA 4: Gaiola Pombalina	37
FIGURA 5: Parte da parede do Túnel do Tamisa no Museu de Brunel	38
FIGURA 6: Edifício Monadnock em Chicago	39
FIGURA 7: Câmara Municipal de Filadélfia	39
FIGURA 8: Mercado de Porto Alegre, Brasil, 1972, cobertura de tijolo maciço armado com vãos até 43 m.	40
FIGURA 9: Silo horizontal de la Cooperativa Agrícola de Young Limitada (Cadil), Rio Negro, Uruguai, 1978, com 15 m de altura, tijolo maciço armado.	40
FIGURA 10: Depósito Julio Herrera y Obes, Montevideo, Uruguai, 1979, cobertura de tijolo maciço armado com vão de 28 m.	41
FIGURA 11: “Estación de servicio Barbieri y Leggire”, Salto, Uruguai, 1976, cobertura autoportante em tijolo maciço armado.	41
FIGURA 12: Museu de Arquitectura em Hoimbrach, Alemanha	42
FIGURA 13: Milton Keynes Academy	42
FIGURA 14: London Court	42
FIGURA 15: Reabilitação de uma zona de extracção	45
FIGURA 16: Evolução de gás natural, (Fonte TBE)	46
FIGURA 17: Reactores de biogás na fábrica de tijolos Gasser/Itália	47
FIGURA 18: Tijolo clínquer	49
FIGURA 19: Tijolo térmico	49
FIGURA 20: Planta R/Chão	53
FIGURA 21: Corte escada	54
FIGURA 22: Vista 3D	54
FIGURA 23: Efeito de excentricidade	60
FIGURA 24: Momento para os tipos diferentes da parede na zona superior e inferior da patamar.	63

FIGURA 25: Excentricidade para os tipos diferentes da parede na zona superior e inferior da patamar.	63
FIGURA 26: Tensão para os tipos diferentes da parede na zona superior e inferior da patamar.	63
FIGURA 27, Comparação das quantidades dos materiais de construção nas duas soluções construtivas em kg	66
FIGURA 28, Emissões de CO ₂ (kg CO ₂ / Unidade Funcional)	75
FIGURA 29, Comparação energia incorporada (MJ / Unidade Funcional)	76
FIGURA 30, Comparação emissões de CO ₂ (kg CO ₂ / Unidade Funcional)	78
FIGURA 31, Comparação energia incorporada (MJ / Unidade Funcional)	79
FIGURA 32, Comparação de emissões totais de CO ₂ (kg CO ₂) por edifício	83
FIGURA 33, Comparação de energia incorporada (MJ) por edifício	86
FIGURA 34, Comparação dos custos das paredes exteriores (euros)	87
FIGURA 35, Comparação dos custos das paredes interiores (euros)	87
FIGURA 36, Abobadilha da fabrica Preceram	97
FIGURA 37, Exportações Líquidas de Portugal na primeira década de século 21	100
FIGURA 38, CTUP na construção em Portugal	103
FIGURA 39, Geometria dos vários modelos de edificação	107
FIGURA 40, Factor múltiplo de relações entre as áreas de construção dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m ² /m ²)	109
FIGURA 41 Factor múltiplo de relações entre as áreas de construção dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m ² /m ²)	109
FIGURA 42, Factor múltiplo de relações entre a ocupação da área das paredes exteriores e interiores dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m ² /m ²)	109
FIGURA 43, Factor múltiplo de relações entre as fachadas dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m ² /m ²)	110
FIGURA 44, Rácio da fachada e área útil dos edifícios diferentes (m ² /m ²)	111
FIGURA 45, Quantidade de material de construção para as paredes exteriores de vão de 4 e 6 m	113
FIGURA 46, Quantidade de material de construção para as paredes exteriores de vão de 2 e 7 m	113
FIGURA 47, Comparação das quantidades dos materiais de construção entre os edifícios 2 e 3 em construção convencional	116
FIGURA 48, Relações entre as paredes exteriores dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m ³ /m ³)	117

FIGURA 49, Relações entre as paredes interiores dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m^3/m^3)	117
FIGURA 50, Relações entre os pilares dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m^3/m^3)	118
FIGURA 51, Relações entre a quantidade dos materiais dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m^3/m^3)	118
FIGURA 52, Quantidade de paredes na solução alvenaria estrutural (m^3)	119
FIGURA 53, Comparação das quantidades dos materiais de construção entre os edifícios 2 e 3 em alvenaria estrutural	120
FIGURA 54, As relações entre as paredes exteriores dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m^3/m^3)	121
FIGURA 55, As relações entre as paredes interiores dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m^3/m^3)	121
FIGURA 56, As relações entre a quantidade dos materiais dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m^3/m^3)	121
FIGURA 57, Diferença de quantidade de material do construção entre a construção convencional e alvenaria estrutural para os edifícios modelo	122
FIGURA 58, Comparação da quantidade do material por área útil nas solução de construção convencional (CC) e alvenaria estrutural (AE) (m^3/m^2)	124
FIGURA 59, Comparação das quantidades dos materiais de construção entre os edifícios 2 e 3 em soluções construtivas construção convencional (CC) e alvenaria estrutural (AE)	125
FIGURA 60, Comparação dos factores	125
FIGURA 61, Comparação das emissões de CO_2 por área útil nas solução de construção convencional (CC) e alvenaria estrutural (AE) (kgCO_2/m^2)	131
FIGURA 62, Comparação da energia incorporada por área útil nas solução de construção convencional (CC) e alvenaria estrutural (AE) (MJ/m^2)	132
FIGURA 63, Planos de rotura por flexão da alvenaria devido as forças horizontais	136
FIGURA 64, Paredes de alvenaria contraventadas	137
FIGURA 65, Digrama de altura limite h (m) das paredes de alvenaria em função de comprimento para a largura de 29 cm conforme com a Tabela 78	138

1. Introdução: Sustentabilidade na Construção

1.1 Desenvolvimento Sustentável

Este é o milénio das cidades. Pela primeira vez, em 2008, de acordo com os cálculos demográficos, os 6,6 mil milhões de habitantes vivem em maior percentagem em cidades e não em zonas rurais, como acontecia até aqui. Esta tendência deverá aumentar, prevendo-se que a quase totalidade do incremento demográfico previsto até 2030 (9 mil milhões de habitantes) se faça à custa de população urbana.

Esta é a tendência generalizada, admitindo-se que a Ásia lidere e continuará a liderar a urbanização acelerada, não deixa de ser preocupante que o solo urbanizado a nível mundial esteja a crescer a um ritmo de 3.000.000¹ de hectares por ano. Este facto é preocupante e alarmante; o que exige uma profunda reflexão sobre os paradigmas do desenvolvimento actual, pois as cidades com população superior a dez milhões de habitantes, podem fugir ao controlo, sobrecarregando cada vez mais o ambiente e a sustentabilidade, ou a inserção de valores que podem conduzir ao abrandamento do crescimento e até à diminuição da população urbana. O futuro do mundo é imprevisível, mas depende em grande parte do destino das cidades.

O milénio das cidades conduziu à proliferação de favelas e áreas degradadas, principalmente nos países do terceiro mundo, que são zonas de cidade com pobreza, doença e discriminação. O empobrecimento obriga a fechar os olhos à realidade, o que empurrou um em cada seis seres humanos para o limiar da sobrevivência, em encostas instáveis, em zonas de cheias de rios, nas ruas e em lixeiras, enquanto que o movimento migratório para as zonas urbanas provoca problemas também no mundo rural, com o desmembramento de comunidades, a dispersão das famílias deixando a economia rural com falta crónica de mão-de-obra.

O futuro depende das escolhas de hoje. E estas devem passar por uma complexa e completa reflexão, no sentido de corrigir as nossas práticas quotidianas, de tal modo que:

- compreendamos a condição humana;
- pensemos a nossa relação com a natureza; e
- vivamos num mundo interligado.

¹ United Nations, Report of the World Commission on Environment and Development, General Assembly Resolution 42/187, 11 December 1987. Retrieved: 2007-04-12

Com a publicação do Relatório Bruntland em 1987, onde pela primeira vez aparece a expressão “Desenvolvimento Sustentável” definida como:

“permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as das futuras gerações”¹

e com a Conferência do Rio em 1992, onde foram aprovadas, por unanimidade a Declaração sobre o Ambiente e Desenvolvimento, a Declaração de Princípios sobre as Florestas e a Agenda 21, bem como a Convenção sobre as Alterações Climáticas e a Convenção sobre a Diversidade Biológica, deram-se passos importantes no sentido da sustentabilidade. Também o Protocolo de Quioto (1997), consequência de vários eventos, iniciados com a Conferência de Toronto sobre “*The Changing Atmosphere*”, no Canadá (1988), (que estabeleceu o protocolo de um Tratado Internacional com rígidos compromissos, no que respeita à emissão de gases com efeito de estufa (GEE) para refrear o aquecimento global) é outro marco significativo no caminho das melhorias ambientais, principalmente após a adesão formal da Rússia, em Novembro de 2004, responsável por 55% dos países emissores, condição necessária para a sua oficialização.

A Agenda 21 teve também reflexos em Portugal, nomeadamente veiculando programas como a Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável, publicado em 2002, e que foi posteriormente sendo actualizado até ao ano 2015. Este documento abarca um conjunto de alterações nas vertentes económica, social e ambiental que permitem “assegurar um crescimento económico célere e vigoroso, uma maior coesão social e um elevado e crescente nível de protecção e valorização do ambiente”.

1.2 O Papel dos Materiais de Construção

A indústria da construção, que a nível mundial é a que consome mais matérias-primas e, na Europa, representa 28,1% e 7,5% do emprego, respectivamente na indústria e em toda a economia europeia, com as necessidades crescentes de urbanização, agravará ainda mais o consumo de matérias-primas não renováveis e a produção de resíduos. A sustentabilidade da construção civil e, particularmente, dos materiais e matérias-primas, assumem assim um importante papel que importa referir, aprofundar

¹ Internet: UNESCO > Education > United Nations Decade of Education for Sustainable Development, consultado em 28 de Outubro de 2009

e divulgar no sentido de potenciar a utilização dos que são “amigos do ambiente”, nomeadamente:

- Materiais de baixa energia incorporada – a escolha de materiais de construção deve ser cuidadosa, de modo a evitar-se a utilização daqueles que são grandes consumidores de energia, que pode ocorrer na extracção da respectiva matéria-prima, na fase de fabrico ou no transporte. Assim, por exemplo o alumínio, que ultimamente se vulgarizou, principalmente na construção de caixilharias é um grande consumidor de energia (215 MJ/kg), enquanto que a terra crua em alvenaria é um material de baixo consumo de energia.
- Materiais recicláveis – os metais e materiais de origem geológica são facilmente recicláveis após o termo da sua vida útil, podendo ou não gerar os mesmos materiais e aplicações. A reciclagem como alternativa à produção a partir de matérias-primas, tem vantagens pois reduz o impacto ambiental negativo. Os materiais usados na construção civil são pouco reciclados.
- Materiais obtidos de fontes renováveis – a sustentabilidade da construção civil passa pela utilização destes materiais, nomeadamente a madeira, desde que a renovação das espécies se faça a um ritmo superior ao da sua utilização geral e não apenas ao da sua utilização na indústria da construção civil.
- Ligante obtido por activação alcalina – o cimento alcalino ou obtido por activação alcalina são também designados por cimento geopolímero. Fisicamente, os ligantes obtidos por activação alcalina são conseguidos em duas fases: uma de dissolução da sílica e alumínio da matéria-prima quando misturada com uma solução alcalina (activador) e outra de policondensação e endurecimento dos produtos de reacção numa estrutura polimérica.
- Utilização de materiais duráveis – quanto mais durável for um material menor será o seu impacto ambiental. Infelizmente, são muitos os exemplos que atestam a fragilidade de alguns materiais e soluções mais usadas em todo o mundo. Por exemplo, o betão, que é o material mais usado na construção civil aparece por vezes com as armaduras corroídas, devido à porosidade do betão. Em ambientes agressivos que contem dióxido de carbono e/ou ião de cloro, estes materiais penetram no betão e originam a corrosão.
- Materiais obtidos através de resíduos – segundo várias opiniões é a melhor forma da indústria da construção ser sustentável. Há vários produtos e

materiais de construção civil que recorrem à adição de resíduos de outras indústrias. O betão incorpora já muitos destes subprodutos pelas suas características pozolânicas, como por exemplo: cinzas volantes, escória de alto forno, sílica de fumo, cinzas de resíduos vegetais (por exemplo, cinzas de casca de arroz), cinzas de resíduos sólidos urbanos, resíduos de vidro, etc. A incorporação de resíduos em betão, como agregado de filler, resíduos de indústria automóvel, de plástico, têxteis, pó de pedra da indústria das pedras e rochas ornamentais, de extracção de agregados e da indústria cerâmica e finalmente os resíduos de construção e demolição – RCD – cuja aplicação em betão será abordada seguidamente.

Como se pode ver na TABELA 1, que mostra a realidade de alguns países europeus em 1999, no que respeita à problemática dos RCD, as realidades variam muito, no que se refere à produção e à recuperação de RCD.

TABELA 1: Dados Europeus de RCD¹

País	RCD (10 ⁶ ton/ano)	% reutilizada	% incinerada ou depositada em aterro
Alemanha	59 *	17	83
Reino Unido	30	45	55
França	24	15	85
Itália	20	9	91
Espanha	13	< 5	> 95
Holanda	11	90	10
Bélgica	7	87	13
Portugal	3	< 5	> 95
Dinamarca	3	89	9
Suécia	2 **	21	79
Finlândia	1	45	55

* Produção de 1,9 Kg / pessoa / dia

** Produção 0,5 Kg / pessoa / dia

¹ (Construction and Demolition Waste Management Practices and their Economics Impacts – ETN Recycling in Construction 1999)

Os principais tipos de resíduos reciclados são:

- resíduos de construção, renovação e demolição (betão, tijolo e alvenaria);
- agregados reciclados de betão britado;
- agregados reciclados de pavimentos asfálticos;
- outros agregados reciclados de resíduos sólidos urbanos (vidros, escórias, cinzas, etc.).

A incorporação de resíduos industriais em betões constitui assim e no caso concreto de Portugal, uma oportunidade de alcançar a meta prevista no âmbito do 3º objectivo do ENDS 2015 (Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável, Resolução do Conselho de Ministros n.º 109/2007)¹, isto é, reduzir de 12,1% o valor dos resíduos industriais relativamente aos valores do ano de 2001.

Neste sentido a Construção Sustentável e a escolha dos materiais da construção tem uma importância fundamental considerando o impacto económico da Indústria da Construção que²:

- representa 25% de toda a Produção Industrial da UE
- representa 11% do Produto Interno Bruto em Portugal
- representa 60% do investimento anual
- significa 33 milhões de trabalhadores dependente ou independente da construção
- significa uma facturação anual de 780 milhões Euros (+ 30% EUA, + 10% Japão)
- significa o maior exportador mundial do sector com 52% de mercado
- constitui 60% da riqueza total.

O impacto ambiental da Indústria da Construção é importante:

- produz 400 Mt de Resíduo da Construção & Demolição que representa 40% de todos os resíduos produzidos na Europa
- segundo responsável pela emissão de CO₂, (30% do total)
- consomem 42% da energia produzida.

¹ Diário da Republica, 1.ª série - N.º 159 - 20 de Agosto de 2007

² Torgal, Fernando Pacheco; Jalali, Said, Tendências para a sustentabilidade dos materiais de construção, Universidade de Minho, Guimarães, 2008

A partir do conceito de Desenvolvimento Sustentável de acordo com o Tratado de Amsterdão

“Promover o progresso económico e social para os seus povos,...princípios de Desenvolvimento Sustentável no contexto de atingir a protecção do mercado interno, a coesão interna reforçada e a protecção ambiental, e para implementar políticas que assegurem que os avanços na integração económica são acompanhados por progressos paralelos noutras áreas”¹

surge a ideia de analisar o potencial da alvenaria estrutural em blocos cerâmicos, uma técnica antiga que, com a tradição construtiva recente de betão armado, tem estado a perder a sua importância.

1.3 Análise da Sustentabilidade

A complexidade do tema da sustentabilidade tem atraído a atenção dos investigadores que têm avaliado uma variedade enorme de experiências neste campo. Em muitos países foram elaborados sistemas ou métodos que propõem analisar o “nível de sustentabilidade” dos empreendimentos e edificações. Já existem trabalhos de investigação que procuram comparar os métodos de análise de sustentabilidade, buscando analisar quais seriam os melhores processos entre os existentes, ressaltando as suas lacunas e potencialidades.

Em geral, pode-se dividir os métodos em dois grupos. O primeiro grupo está baseado nos critérios estabelecidos com uma estrutura organizada em função do registo de dados em que investidores, projectistas e construtores precisam necessariamente tomar decisões sobre a implantação, uso de água e energia, materiais de construção e o ambiente interior das construções. O segundo grupo de métodos está baseado nos sistemas de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que são organizados nos impactos ambientais associados a elementos ou as características do edifício.

Nesta altura são conhecidos mais do que 32 métodos, cada um deles adaptado às condições do seu país onde são desenvolvidos. Quase todos têm categorias semelhantes mas formas de pontuação diferentes. Organizam-se numa hierarquia de categorias, pré-requisitos e critérios. Em média, a maioria têm mais do que 40

¹ Internet: europa.eu/scadplus/leg/pt/s50000.htm, consultada em 25/08/2009

critérios, as questões são apresentadas em paralelo sem considerar a complexidade das inter-relações de assuntos de sustentabilidade. Dois investigadores identificaram na sua investigação de doutoramento estes factos: A. N. Yuba (2005) e Leonardo Egas (2008) de Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo em Brasil. L. Egas propõe que:

“A partir desse contexto é possível entender como os métodos de avaliação de sustentabilidade se desenvolveram de forma tão desequilibrada, focando preponderantemente em apenas uma das dimensões, a ambiental. Portanto, Deakin et al (2002) diz que, para diminuir as deficiências dos métodos atuais ao se avaliar a complexidade do ambiente construído, deve-se buscar um método que integre as áreas ambientais, sociais e económicas.”¹

A nível internacional, os métodos mais conhecidos são: a) BREEAM, Building Research Establishment Environmental Assessment Method (1990), de Reino Unido; b) LEED, Leadership in Energy and Environmental Design (2002), dos Estados Unidos de America; c) GBTOOL, Green Building Assessment Tool (1998), desenvolvido por 24 países de todos os 5 continentes; e d) LENSE, Environmental, Sustainable and Economic Buildings (2008), desenvolvido pelo Belgian Buildings Research Institute e baseado em metodologias existentes em toda a Europa.

A nível nacional há os métodos Domus Natura (2005) de Société General de Surveillance S.A., uma empresa da Suíça com experiência internacional e especializada em classificação dos edifícios, SBTool (2006) de Universidade do Minho e aprovado pela iSBE, Iniciativa Internacional para a Sustentabilidade do Ambiente Construído, Canadá, e LiderA (2007) desenvolvido pelo Manuel Duarte Pinheiro, do Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Todos estes métodos além do consumo de energia e a poluição focam no período de pós-ocupação de edifício, nomeadamente o consumo de água e a manutenção.

¹ Leonardo Egas, Análise pluridimensional da sustentabilidade do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em madeira de Pinus, tese de doutoramento, Universidade São Paulo, 2008

2. Objectivo e Metodologia do Estudo

2.1 Objectivos gerais

Esta investigação concentra-se na análise das questões de sustentabilidade da construção, ou seja, do tempo de pré-ocupação de edifício. A partir dos métodos mencionados decidiu-se desenvolver um método para a análise de sustentabilidade. O objectivo deste estudo é analisar se no âmbito de um Desenvolvimento Sustentável, nas suas três vertentes

- Importância Económica
- Impacto Ambiental
- Bem-Estar Social,

a alvenaria estrutural, em particular, utilizando o bloco cerâmico, é uma alternativa económica e ambientalmente defensável para substituir a construção convencional em estrutura de betão armado.

Neste âmbito, os objectivos gerais deste estudo são:

Avaliar e comparar a sustentabilidade da construção em alvenaria estrutural e construção convencional (estrutura reticulada em betão armado).

2.1.1 Estudo e Selecção dos Parâmetros

Um dos parâmetros mais importantes do limite de capacidade de uso da alvenaria estrutural é a altura (h) da edificação, ou seja, o número de pisos do edifício, quer para as acções verticais (permanentes) e, essencialmente, para as acções horizontais (vento e sismo).

Desde modo, pretende-se desenvolver numa primeira fase, para o presente trabalho de investigação, um modelo paramétrico que permita definir os parâmetros de avaliação estrutural em termos de dimensionamento e geometria bem como os parâmetros necessários para a análise ambiental dos edifícios tipo em bloco cerâmico, economicamente viáveis e competitivos com edifícios idênticos de betão armado.

2.1.2 Análise Ambiental e Económica

Numa segunda fase analisar-se-á a sustentabilidade dos dois sistemas construtivos, a alvenaria estrutural e a construção convencional, nas perspectivas económica, construtiva e ambiental.

Portanto, entende-se por sustentabilidade a caracterização e sua modelação quantitativa dos seguintes parâmetros:

AMBIENTAL

- Consumo de energia no processo de fabrico e transporte dos materiais
- Emissão de CO₂
- Quantificação de resíduos e contaminantes no processo construtivo

CONSTRUTIVO/ESTRUTURAL

- Quantificação do custo da construção
- Quantificação dos custos de utilização e manutenção
- Estabelecimento de matriz com altura limite h de edifício versus área em planta e por utilização funcional
- Prazo de execução

ECONÓMICO-SOCIAL

- Emprego gerado
- Influência na Macroeconomia
- Influência na balança de pagamentos.

Procurar-se à estabelecer, quantificando através de modelo a desenvolver, avaliar a sustentabilidade ambiental e económica, da solução em alvenaria estrutural e comparar a mesma com a construção convencional com a estrutura em betão armado.

2.2 Objectivo específico: Edifícios Típicos

Através dos dados obtidos da análise da sustentabilidade pretende-se determinar os tipos de prédios e verificar a sua adequabilidade em alvenaria estrutural versus a construção convencional.

Os objectivos específicos são determinar a geometria e a altura do edifício que mostra indicadores mais favoráveis de sustentabilidade (ambiental e social) e verificar a função mais adequada para esta geometria. A utilização do edifício pode variar entre a habitação, hotel, hospital, escola, edifício público de administração entre outros. Estes tipos de edifícios tem necessidades diferentes em termos de manutenção, ciclo de vida e conforto pós ocupação. Os dados de sustentabilidade e os futuros custos esperados serão alguns dos indicadores para escolher o tipo de solução construtiva mais adequada.

2.3 Metodologia

2.3.1 Estudo de Caso, da Ecologia dos Materiais de Construção e Recolha de Dados

A metodologia da investigação a empreender passa pelo desenvolvimentos das seguintes fases de estudo e de recolha de informação.

Estudo sobre a ecologia dos materiais de construção, da análise crítica da história do seu emprego, em especial na aplicação de alvenaria estrutural, e da sua distribuição geográfica. Nesta fase, através de consultas bibliográficas e contactos com diversas instituições com investigação relevante desenvolvida nesta área temática (ver capítulo 3. Estado de Arte).

A compilação e tratamento da informação obtida destes contactos e das conclusões alcançadas na pesquisa bibliográfica a efectuar, sairá o suporte para o estabelecimento do estado de arte e dará origem a um relatório intitulado Estado de Arte da sustentabilidade da alvenaria estrutural, com recurso aos blocos cerâmicos.

2.3.2 Desenvolvimento do Estudo

O estudo a empreender, no seguimento ao Estado de Arte definido será elaborado de modo a esclarecer os seguintes aspectos:

1. Tipo de blocos cerâmicos disponíveis a nível nacional e no estrangeiro, com as características técnicas determinantes:
 - Dimensões
 - Massa Específica
 - Percentagem de Furacão
 - Resistência à Compressão
 - Durabilidade contra o gelo/degelo
 - Teor de Sais Solúveis
 - Absorção de Água
 - Permeabilidade ao Vapor de Água
 - Aderência
 - Resistência Térmica
 - Condutividade Térmica
 - Reacção ao Fogo
2. Dados cerâmicos e uma comparação geral do bloco cerâmico com a solução construtiva em betão armado.
3. Edifícios típicos existentes construídos com blocos cerâmicos em Portugal em alvenaria estrutural, com e sem armadura, verificando as dimensões, a utilização, os materiais construtivos usados, a localização e o estado de desempenho destes edifícios.

2.3.3 Definição de Modelo e as Unidades Funcionais

As informações e conclusões obtidas neste estudo prévio suportará a elaboração e definição do modelo paramétrico de análise de edifícios de alvenaria estrutural, necessário ao estabelecimento dos limites, em especial a altura e a relação entre planta e altura, que permitem sistematizar a possível utilização estrutural de edifícios em alvenaria estrutural, por função, geometria e altura.

O modelo paramétrico é um modelo ideal que abrange todos os problemas de estabilidade conforme com as indicações do Eurocódigo 6 que regulamenta a construção em estruturas de alvenaria. As dimensões e os vãos do modelo devem corresponder às dimensões médias usuais. Neste sentido, para o modelo paramétrico estimam-se quatro vãos diferentes, de 2m, 4m, 6m e 7m.

Neste edifício modelo encontra-se divisões com dimensões usuais, com janelas e portas. Existe também uma escada com patamar apoiado na parede exterior. Pelo Eurocódigo 6 as alturas diferentes na parede exterior entre as lajes podem causar excentricidades excessivas das forças internas verticais.

Os outros parâmetros importantes são a baixa resistência em relação à tracção na zona das juntas e o perigo de encurvadura da parede, que resulta da altura e da baixa aderência entre o bloco cerâmico e a argamassa.

Neste contexto, no modelo escolhido, todos estes parâmetros estão relacionados e serão considerados na análise de estabilidade a empreender.

O modelo será dividido em unidades funcionais para dar aos promotores da obra, aos arquitectos e engenheiros a informação necessária para poderem escolher a solução mais económica e ecológica. Assim, a análise de unidades funcionais é mais específica contrariamente à análise do edifício modelo que tem carácter global. No entanto, estas unidades devem ter a mesma função em todos os aspectos de arquitectura e engenharia, especialmente na estabilidade, no comportamento térmico e acústico. As unidades funcionais podem ser paredes, pilares, lajes ou tectos, escadas e etc.

Neste caso parece ser interessante analisar unidades funcionais de paredes exteriores e interiores com vãos de 4, 6 e 7 metros. As unidades têm as mesmas funcionalidades em termos de estabilidade e comportamento térmico e acústico, para diferentes vãos e pisos, mas dependente da solução adoptada, as paredes têm diferentes quantidade e tipo de material usado. Deste modo, as paredes do mesmo vão e piso podem ser comparadas.

Assim, as unidades funcionais, as paredes exteriores e interiores, vão ser avaliadas e comparadas, quer em construção convencional (estrutura reticulada), quer em alvenaria estrutural. Esta avaliação e comparação será muito específica em relação aos dados de economia e ecologia. Em seguida, o modelo paramétrico pode ser avaliado da mesma forma para obter uma informação global sobre as diferenças na construção convencional e na alvenaria estrutural.

2.3.4 Quantificação dos Parâmetros de Avaliação de Estrutura em Alvenaria e em Betão Armado

2.3.4.1 Avaliação da Estabilidade

A avaliação da estabilidade vai permitir detectar e verificar os problemas e potenciar o desenvolvimento de soluções mais específicas e adequadas. Por este motivo, várias combinações de geometria, funções e altura vão ser realizadas para se poder obter uma construção modelo com os tipos adequados de blocos cerâmicos.

A escolha dos blocos cerâmicos tem que ter em consideração os dados obtidos no Estado de Arte, porque os blocos devem também cumprir com os requisitos da regulamentação para edifícios, de modo a assegurar a funcionalidade e conforto.

O edifício modelo elaborado vai permitir analisar também a estrutura reticulada convencional em betão armado com panos de enchimento em alvenaria de bloco cerâmico, como é hábito construir em Portugal de acordo com os regulamentos aplicáveis.

Com os resultados da análise da estabilidade e tendo em consideração os regulamentos aplicáveis podem-se escolher os blocos cerâmicos para as paredes exteriores e divisórias e dar início à análise da sustentabilidade.

2.3.4.2 Avaliação Ambiental e Ecológico

Depois da escolha dos blocos cerâmicos e da análise estrutural realizada e validada, empreende-se a quantificação dos consumos energéticos e de emissão do CO₂, na produção dos materiais de construção usados e no transporte dos mesmos da fábrica até à obra. Para poder apresentar estes dados numa forma explícita referenciáveis estabeleça-se uma zona de referência representativa para Portugal.

Para as unidades funcionais quantifica-se a energia incorporada, nas paredes exteriores e interiores, para as diversas combinações de vãos e plantas definidas. De igual modo empreende-se uma quantificação da emissão de CO₂, na produção e transporte dos materiais de construção para as combinações definidas. Generaliza-se

o edifício modelo as quantificações realizadas para a situação da Unidades Funcionais.

2.3.4.3 Avaliação Económica e Social

Nesta fase procede-se à quantificação de:

- custos de construção,
(o orçamento limita-se só à estrutura de betão armado e às paredes, uma vez que os custos de revestimento e acabamento são considerados iguais para ambas as soluções construtivas);
- quantidade de materiais;
- número necessário de trabalhadores na construção;
- prazos de execução (tempo por actividade).

Procede-se também à quantificação das variáveis intervenientes para as unidades funcionais e, de igual modo, à quantificação das variáveis intervenientes no modelo.

2.3.5 Comparação dos dois Modelos Construtivos

De acordo com os parâmetros de sustentabilidade referidos em capítulo 2.1.2 e de acordo com o modelo apropriado desenvolve-se um critério de decisão de investimento imobiliário para definição do âmbito de utilização sustentável da alvenaria estrutural.

2.3.6 Estudo de Casos: Definição e Análise de Edifícios Tipo

Com base na comparação e análise paramétrica definem-se os edifícios tipo de alvenaria estrutural a analisar e a estudar, para as diversas possibilidades formais de utilização (altura, planta e função). O resultado é uma lista de vantagens e desvantagens para certos edifícios típicos que permitem recomendar para uma utilização específica, (edifícios públicos, hospitais ou escolas), o uso da alvenaria estrutural, face à solução corrente em estrutura de betão armado.

Desenvolve-se a análise de sustentabilidade que inclui o conceito de sustentabilidade definido e defendido neste trabalho (economia, ambiente e social) em edifícios de habitação ou edifícios de serviços públicos como escolas ou centros de saúde.

2.3.7 Resumo e “*Checkliste*”

Por fim apresenta-se a metodologia de forma de um *checklist* resumindo os capítulos anteriores.

1. Recolha de dados de sustentabilidade:
 - Na fabricação: tecnologia de produção, energia usada, poluição e consume de energia.
 - No transporte: Forma de transporte, energia usada, poluição e consumo de energia.
 - Importação: Componentes e energias importadas.
2. Encontrar as fontes de informação de confiança.
3. Comparação das fontes.
4. Escolha de dados para as quantificações.
5. Criar um modelo paramétrico e uma alternativa idêntica virtual para comparação e análise do objecto de estudo. O modelo paramétrico deve corresponder à realidade de mercado da construção e às práticas de construção.
6. Criar condições totalmente iguais para a comparação das duas alternativas do objecto de estudo (por exemplo edifícios, mesma estabilidade mínima, mesmas condições de ventilação, isolamento térmico e acústico).
7. Determinar as unidades funcionais.
8. Analisar separadamente as duas alternativas e as unidades funcionais conforme com os seguintes passos.
9. Identificar as quantidades dos materiais e os seus respectivos pesos.
10. Quantificar a poluição e a energia incorporada na produção e no transporte.

11. Comparar os resultados com rigor e em variações diferentes de interesse como em termos absolutos, por área ou por tendência.
12. Procurar outras formas de indicadores que servem para interpretar os resultados.
13. Analisar e cruzar todos os indicadores para poder interpretar de melhor forma os dados.
14. Tirar as conclusões e sondagem pela análise da aplicabilidade dos resultados na prática.
15. Encontrar edifícios tipos para a aplicação dos resultados e a verificação das vantagens.
16. Determinar os limites da aplicação dos resultados na vertente de geometria e da sustentabilidade.

Esta listagem pode servir como um guia prático e uma orientação para futuros investigadores sem querer pretender que a listagem seja exaustiva, pelo contrário há esperança que futuros investigadores completem esta metodologia e tragam novas ideias.

3. Estado de Arte

3.1 História

A alvenaria era um dos principais materiais de construção utilizados pelo Homem até o século XX. As construções eram erguidas segundo regras empíricas, baseadas nos conhecimentos e experiências adquiridos ao longo dos séculos.

No início do século XX uma nova arte de construção desenvolve-se com o advento do aço e o betão armado. Os novos materiais facilitaram a construção com novas dimensões, com novas soluções construtivas e o suporte científico desenvolveu-se rapidamente. A alvenaria passou a ser usada raramente e quase exclusivamente como elemento não estrutural.

Na Europa vários países nunca abandonaram a construção em pequenas dimensões em alvenaria estrutural. Depois de 2ª Guerra Mundial, com a necessidade de reconstrução, a alvenaria foi re-descoberta. Assim cresceu também a necessidade de elaboração das normas modernas para assegurar a competitividade com as demais técnicas existentes e a segurança na construção em alvenaria estrutural.

As construções persas e assírias há mais de 10.000 AC eram feitas com tijolos secos ao sol. No Irão, em geral no Médio Oriente, a alvenaria, seja em blocos cerâmicos ou pedra, é a solução mais encontrada na construção civil. Dois exemplos representativos mostram-se nas imagens seguintes:



FIGURA 1: Ctesiphon, Iraq, Palácio do Império Sassânida, ~200 AC



FIGURA 2: Mesquita Vakil, Xiraz, Irão, 1773 A.D.

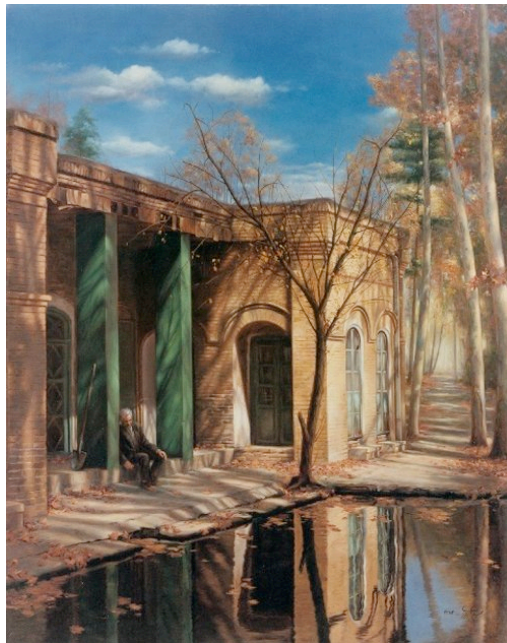


FIGURA 3: Habitação típica tradicional no Irão

No Egito, em 4.000 AC empregavam-se tijolos queimados em fornos, em 2000 AC construiu-se em alvenaria estrutural a Entrada da Torre da Babilónia em Uruk, o Farol de Alexandria, uma torre com uma altura até 150 m, foi construída em 280 AC e o Coliseu de Roma construído entre 70 e 90 DC.

Na Idade Média, a partir de século XII, a Lombardia, a França e a Alemanha tornam-se centros de produção de tijolo. Durante as épocas do Românico, Gótico e Renascimento, o tijolo propaga-se cada vez mais. Magníficos castelos e grandes catedrais dos séculos XII a XVII foram construídas especialmente nos países europeus do norte como a Alemanha, a Bélgica, a Holanda, a Inglaterra e a Escandinávia.

No final do século XVIII, após o Grande Terramoto de Lisboa, houve um grande avanço na alvenaria estrutural armada, com a inovação da gaiola de madeira, na reconstrução da Baixa de Lisboa, criada pelos engenheiros militares e arquitectos Manuel de Maia, Eugénio dos Santos e Carlos Mardel¹.

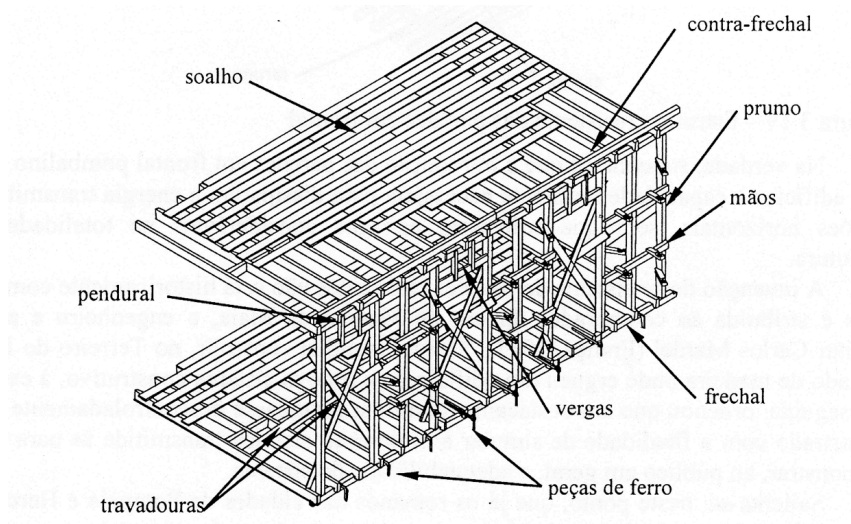


FIGURA 4:
Gaiola
Pombalina²

Este processo incluía a partir do piso térreo dois tipos de paredes:

- a) as paredes mistas, constituídas por paredes de alvenaria de pedra e com uma estrutura de madeira inserida no seu interior;
- b) as paredes de frontal pombalino, formadas por uma treliça de madeira preenchida com elementos cerâmicos.

¹ Ramos, Luís F., Análise experimental e numérica de estruturas históricas de alvenaria, Universidade de Minho, 2002

²Ramos, Luís F., Análise experimental e numérica de estruturas históricas de alvenaria, Universidade de Minho, 2002

A combinação da estrutura de madeira nas paredes exteriores e interiores e nos pavimentos e coberturas ligado entre si com barras de travamento e cruces para assentamento dos blocos, permitia resistir melhor às acções sísmicas. Trata-se da conhecida gaiola pombalina. Este conjunto de diferentes tipos de parede com a geometria regular em planta e a altura constante para todos os edifícios dos quarteirões, proporcionavam ao edificado um sistema anti-sísmico inovador e eficaz, único no mundo.

Importa referir os seguintes marcos importantes no desenvolvimento da alvenaria estrutural. No século XIX os Ingleses foram os primeiros a apresentar a produção mecânica de tijolo. A linha de produção foi desenvolvida pelos alemães de modo revolucionário. A primeira máquina foi apresentada pelo fabricante Schlickeysen em 1854 e, em 1858, o forno circular com patente do Eng.º Friedrich Hoffmann. Em 1880 realizam-se as primeiras pesquisas experimentais sistemáticas em alvenaria de tijolos nos Estados Unidos de América.

Em 1813, o Marc Isambard Brunel, engenheiro-chefe da cidade de Nova York, fez a primeira proposta de armar a alvenaria estrutural com aço. A primeira aplicação significativa foi na construção do Túnel do Tamisa na Inglaterra.

FIGURA 5: Parte da parede do Túnel do Tamisa no Museu de Brunel



Em 1891 finaliza-se a construção do edifício Monadnock em Chicago, com 17 pisos e 60 m de altura (paredes em tijolo maciço, no r/chão com 1.82 m de espessura).



FIGURA 6: Edifício Monadnock em Chicago

Em 1899 realiza-se a construção do edifício da Câmara Municipal de Filadélfia, Estados Unidos de América, com 167 m de altura (edifício mais alto de alvenaria com granito e mármore).

A partir de início de século XX utiliza-se gradualmente mais o aço e o betão armado, que oferecem vantagens técnicas e facilitam a industrialização. Consequentemente abandona-se a alvenaria estrutural como principal técnica construtiva.

FIGURA 7: Câmara Municipal de Filadélfia

Em 1920 Sir Alexander Brebner inicia ensaios com a alvenaria estrutural armada na Índia.

Em 1948 foi publicada a primeira norma para o cálculo de alvenaria de tijolos na Inglaterra - *Code of Practice CP 111 "Structural Recommendations for Loadbearing Walls"*, (British Standards Institution).



Em 1951 o primeiro edifício em alvenaria estrutural não armada é construído na Suíça, com 13 pisos e 41 m de altura.

Em 1969 foi publicado o primeiro código americano de alvenaria estrutural "*Recommended Building Code Requirements for Engineered Brick Masonry*", (Brick Institute of America).

Na Europa em 1989 foi tomada a decisão de preparação e publicação dos Eurocódigos. Consequentemente em 2005 foi publicado a primeira norma europeia em relação da alvenaria estrutural, o Eurocódigo 6.

No período 1943 - 1996 o arquitecto e engenheiro Eladio Dieste, no Uruguai, realiza varias obras com tijolo maciço armado, coberturas de dupla curvatura, coberturas autoportantes, silos, estruturas plissadas, embasamentos para máquinas, pontes ferroviárias, infra-estrutura de água, torres e docas.

Algumas das suas obras mais conhecidas são:



Acceso al pabellón de productores.
Entry to the Growers' Pavilion.

FIGURA 8: Mercado de Porto Alegre, Brasil, 1972, cobertura de tijolo maciço armado com vãos até 43 m.



FIGURA 9: Silo horizontal de la Cooperativa Agrícola de Young Limitada (Cadil), Rio Negro, Uruguai, 1978, com 15 m de altura, tijolo maciço armado.

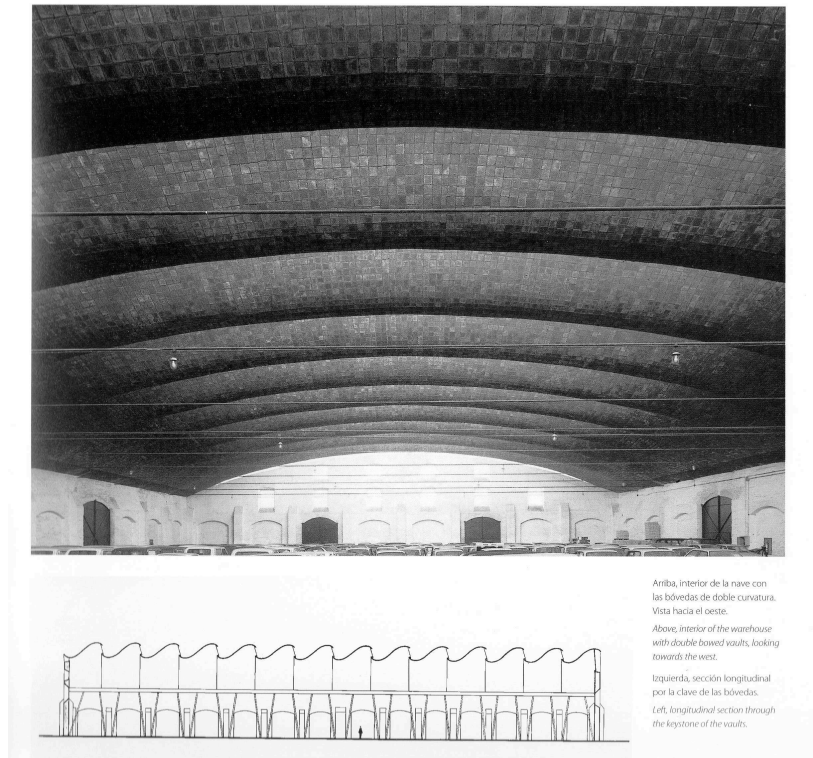


FIGURA 10: Depósito Julio Herrera y Obes, Montevideo, Uruguai, 1979, cobertura de tijolo maciço armado com vão de 28 m.

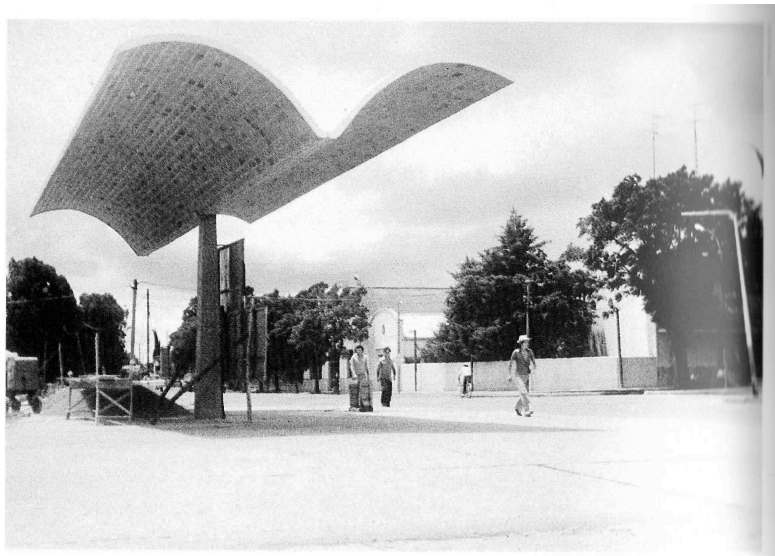


FIGURA 11: “Estación de servicio Barbieri y Leggere”, Salto, Uruguai, 1976, cobertura autoportante em tijolo maciço armado.

Recentemente a indústria cerâmica de Alemanha e a associação cerâmica da Inglaterra premeiam obras de destaque com aplicações de alvenaria, entre os premiados encontram-se também obras em alvenaria estrutural. Um deles é o Museu de Arquitectura, uma obra do famoso arquitecto português, Álvaro Siza, em

colaboração com o arquitecto Rudolf Finsterwald acabado em 2008 e premiado pela indústria alemã em 2010, (ver Figura 12).



FIGURA 12: Museu de Arquitectura em Hombroich, Alemanha
Fonte: Industria Cerâmica de Alemanha

Os outros dois projectos são em Inglaterra e foram premiados em 2010. Um projecto é o London Court, um centro comercial do atelier *Holder Mathias architects*, e o outro é o *Milton Keynes Academy* do atelier BDP, *Building Design Partnership*, ambos de Inglaterra. (ver Figuras 13 e 14)



FIGURA 13: Milton Keynes Academy



FIGURA 14: London Court

Fonte: Industria Cerâmica de Alemanha

3.2 Aspectos Ambientais

A tecnologia de fabricação dos materiais de construção está a sofrer um desenvolvimento significativo para se adoptar a uma produção mais eco-eficiente. Como já foi mencionado no capítulo 1.1 sobre o Desenvolvimento Sustentável, os diferentes protocolos realizados ao longo dos anos entre os países, a sensibilização da opinião pública em relação ao aquecimento global e as questões de sustentabilidade contribuíram para alertar a indústria a procurar novas formas de fabricação com menor poluição e consumo de energia.

As instituições, listadas no ANEXO A, são uma fonte de informação para obter dados sobre o ambiente, a poluição e o consumo de energia na produção e transporte dos materiais de construção, e que se podem comparar com os dados de indústria. Os dados das instituições são normalmente afectados pelas estatísticas mais antigas, mas com os dados mais recentes da indústria pode-se ajustar e actualizar os mesmos.

Estas instituições são associações dos materiais de construção, instituições académicas e instituições governamentais e não-governamentais ao nível nacional, europeu e mundial, ligados às questões de sustentabilidade dos materiais de construção e do transporte dos mesmos.

Em seguida apresenta-se resumidamente as informações sobre o bloco cerâmico e o seu transporte até à obra. Os outros materiais de construção relevantes para este estudo, nomeadamente o betão armado com os seus componentes, cimento, aço, agregados, e as argamassas serão apresentados com os dados ambientais no capítulo 4.

3.2.1 Bloco Cerâmico

Através da consulta dos dados destas instituições, do contacto com as pessoas responsáveis, e utilizando as bibliotecas on-line chegou-se à conclusão, de que na área de estruturas de alvenaria há muita investigação e inúmeras publicações relativas ao comportamento estático e sísmico da alvenaria, e em relação às argamassas. Por outro lado, em relação à sustentabilidade global da alvenaria, não existe informação de relevo.

Na pagina web de associação dos fabricantes europeus de cerâmica encontra-se a seguinte informação:

“A indústria de tijolos e telhas de cerâmica é uma indústria extractora cuja matéria-prima depende de recursos naturais. O processo pode ser conduzido de uma forma sustentável, efectuando-se a recuperação após a extracção.

É vital para a indústria que exista um planeamento dos recursos minerais a longo prazo, assegurando a segurança do fornecimento e, assim, incentivando o investimento.

O produto final e as suas características são determinados pela matéria-prima. Na maioria dos casos, a extracção de argila está directamente ligada ao processo de fabrico, sendo produzidos poucos resíduos por a extracção apenas ser rentável quando a razão entre o material utilizável e não utilizável é elevada”¹ (caso contrário, o “barreiro” é abandonado).

A extracção não é um processo contínuo e, por isso, o impacto não é imediato e a velocidade das alterações não é significativa. Em comparação com outros minerais industriais, os volumes e as taxas de extracção da argila são muito baixos e podem encontrar-se numerosas utilizações sociais e ambientalmente benéficas para os barreiros esgotados, como reservas naturais, zonas de lazer ou reabilitação para agricultura.

A energia consumida durante o fabrico de produtos cerâmicos é sobretudo a consumida na moldagem, secagem e cozedura. Visto que os custos energéticos representam uma parcela importante dos custos totais de produção (até 30%), a indústria cerâmica sempre vigiou com atenção o seu consumo de energia. A ecologia e a economia estão muitas vezes inter-relacionadas e a indústria europeia de fabrico de tijolos e telhas não esperou pela regulamentação legal para investir numa melhor eficiência energética. A cozedura é responsável pela duração excepcional dos nossos produtos. Além disso, alguns deles foram concebidos para poupar energia quando incorporados nos edifícios, tendo o seu desempenho térmico aumentado significativamente nos últimos anos.

¹ FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES FABRICANTS DE TUILES ET DE BRIQUES (TBE), BÉLGICA

Há três formas de gerir o consumo de energia:

- *Escolha da fonte de energia*
- *Redução do consumo de energia*
- *Utilização de energias renováveis*

O gás natural, o LPG (gás líquido de petróleo) e o fuelóleo são usados na maioria das operações de secagem e cozedura, mas são também usados por vezes combustíveis sólidos e electricidade, bem como biogás proveniente de aterros.

O gás natural é cada vez mais usado nas fábricas e esta energia fóssil é a que produz menos dióxido de carbono – CO₂ (57 kg CO₂ / GJ face ao fuelóleo, que origina 75 kg CO₂ / GJ).”¹

Em toda a indústria, a mudança generalizada para combustíveis gasosos e as melhorias na secagem, tecnologia de fornos e controlo resultou numa redução progressiva do consumo de energia e num decréscimo marcado das emissões.



FIGURA 15: Reabilitação de uma zona de extracção

Fonte TBE

¹ FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES FABRICANTS DE TUILES ET DE BRIQUES (TBE), BÉLGICA

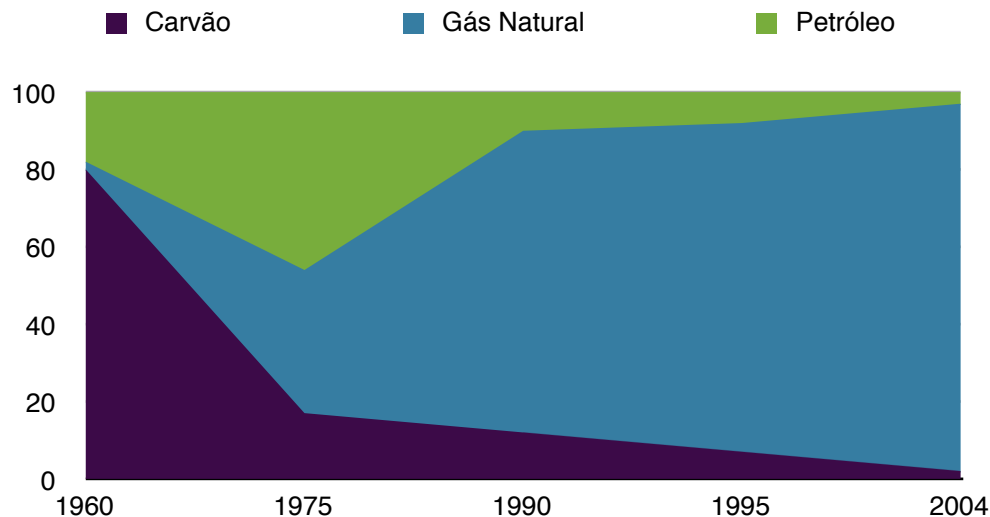


FIGURA 16: Evolução do consumo de gás natural (%), (Fonte TBE)

“As principais melhorias a nível dos processos são:

- *Melhor concepção de secadores e fornos*
- *Controlo informatizado dos regimes de secagem e cozedura*
- *Recuperação do excesso de calor dos fornos (sobretudo ar quente das zonas de arrefecimento dos fornos, conduzido para os secadores)*
- *Modificações dos produtos*

A Directiva CE/2003/87 estabelece o sistema de comércio europeu de emissões de CO₂, directiva com que a indústria europeia de tijolos e telhas se preocupa. Foram já envidados muitos esforços para diminuir o consumo de energia e os seus níveis de emissão de CO₂“¹ (ver TABELA 2).

¹ FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES FABRICANTS DE TUILES ET DE BRIQUES (TBE), BÉLGICA

TABELA 2: Consumo específico de energia (GJ/tonelada) – Indústria de tijolos e telhas

	1980	1985	1990	1995	2001	Redução %
Austria	2.38	2.09	1.71	1.72	1.65*	28
Bélgica	3.30 ²⁾	2.73 ²⁾	2.16 ²⁾	2.37 ³⁾	2.23 ³⁾ **	32
Alemanha	2.43	2.31	1.93	1.63		33
Dinamarca	2.73	- ¹⁾	2.41	2.67		2
Espanha	2.38	2.29	2.24	2.18		8
França	2.87	2.62	2.76	2.61		9
Itália	2.80	2.60	2.10	1.90	1.90	32
Países Baixos	3.63	2.93	2.86	2.70		26
Reino Unido	1.1 ⁴⁾ 3.58 ⁵⁾	1.01 ⁴⁾ 3.26 ⁵⁾	0.84 ⁴⁾ 2.97 ⁵⁾	0.83 ⁴⁾ 2.80 ⁵⁾	2.42 ⁴⁾ 1.40 ⁵⁾	25 ⁴⁾ 22 ⁵⁾
Suíça	- ¹⁾	2.55	2.62	2.53	2.32	1

* 2000, ** 2002

¹⁾ Não disponível

²⁾ apenas tijolos - dados baseados no NIS

³⁾ tijolos e telhas de argila - com base em dados cedidos pela federação

⁴⁾ Dados de 1980 de tijolos Fletton do Reino Unido e ⁵⁾ e de tijolos sem ser Fletton do Reino Unido não disponíveis - os dados apresentados referem-se a 1984. Os valores da indústria de Fletton não podem ser comparados com os valores anteriores. Houve grandes alterações do fabrico quanto ao tipo de produtos fabricados nos três locais Fletton restantes.

⁶⁾ 1995/1980 mas 1995/1985 quando não estão disponíveis dados de consumo de 1980 - para a razão na Bélgica 1980 /1990

Fonte :TBE



FIGURA 17: Reactores de biogás na fábrica de tijolos Gasser/Itália, Fonte TBE

“A substituição de energias não renováveis por energias renováveis está em progresso constante. Em muitos processos de fabrico de cerâmicas podem ser acrescentados aditivos, como serradura, à argila bruta. A utilização destes aditivos oferece duas vantagens: a primeira é que constitui uma fonte adicional de energia e a segunda é a diminuição do peso dos produtos e o aumento do desempenho em termos de isolamento.

Esta energia adicional permite a redução do consumo dos combustíveis fósseis e, em consequência, da emissão de CO₂.

Estes aditivos são seleccionados sobretudo com base em aspectos técnicos, ambientais e sanitários, sendo necessário que exerçam um efeito benéfico nas propriedades técnicas do produto e que não produzam emissões nocivas ou, no caso de o fazerem, que sejam fáceis de controlar. Além disso, não podem representar riscos para a saúde dos trabalhadores da fábrica ou da construção civil.

São efectuados ensaios que determinam se os aditivos utilizados cumprem estes critérios.”¹

Uma avaliação rigorosa e exacta da energia incorporada necessária para a construção de um edifício requer uma base de dados correcta e uma lista de todos os materiais de construção usados. Neste momento o cálculo da energia incorporada não faz parte do processo de planeamento.

Alguns blocos cerâmicos típicos com as características específicas são representadas na TABELA 3. O bloco cerâmico de clínquer serve para paredes resistentes divisórias. Em Portugal só há uma fábrica que fabrica este tipo de tijolo. Para o exterior devem ser escolhidos tijolos que cumprem as necessidades do conforto ambiental e as exigências térmicas do Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

¹ FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES FABRICANTS DE TUILES ET DE BRIQUES (TBE), BÉLGICA

TABELA 3: Comparação de características de alguns tijolos de mercado

Descrição	Tijolo Clinker	Tijolo Térmico	Tijolo Térmico
Origem	Portugal	Portugal	Espanha
Dimensões (mm)	237x115x70	294x289x189	300x288x190
Massa volúmica (kg/m ³)	1,300	860	1,850
Percentagem de Furação	≤ 45		≤ 40
Resistência à compressão (N/mm ²)	≥ 45	≥ 3	10
Aderência (N/mm ²)	0.15		
Absorção de Água (%)	≤ 5.0	não definido	
Resistência Térmica (m ² K/W)	0.23	1.40	
Condutividade Térmica (W/mK)	0.48		0.27
Isolamento Acústico (dB)	51		51
Reacção ao Fogo	Euroclasse A1	Euroclasse A1	RF 240

Dados de Fábricas



FIGURA 18: Tijolo clínquer



FIGURA 19: Tijolo térmico

Além do tijolo maciço e perfurado, que são os mais indicados na alvenaria estrutural, existem ainda em alvenaria estrutural a pedra natural e os blocos sintéticos no mercado. As tabelas seguintes mostram alguns dados típicos e vários materiais que se obtém de diversas fontes.

TABELA 4: Dados típicos de vários materiais de construção

	Densidade kg/m ³	Energia renovável MJ/m ³	Energia não renovável MJ/m ³	Energia total MJ/m ³
Alvenaria cerâmica	700	39.2	2485	2524.2
Betão armado	2400	104.9	5160	5264.9
EPS	20	28	1900	1928
Lã de rocha	80	34.4	1360	1394.4

Fonte: The Brick Development Association, Reino Unido, 2009

TABELA 5: Comparação de materiais estruturais em termos de energia primaria incorporada e a emissão de CO₂ na produção.

Material	ENERGIA kWh/kg	Poluição CO ₂ g/kg
Aço (100% reciclado)	2.780	557
Betão	0.330	65
Madeira (local)	0.180	
Pedra local em alvenaria	0.083	8
Tijolo barro	0,830 - 1.260	190

Fontes: tabelas 2 e 4, e Bjorn Berge, Ecologia dos Materiais de Construção, Volume I

3.2.2 Transporte

Neste contexto deve ser considerada também a poluição gerada através do transporte dos materiais. Os dados fornecidos pela indústria são quantificações da poluição na produção do produto à porta da fábrica. Por vezes, o material até chegar à obra depois da saída da fábrica passa por um armazém, e todo o caminho deve ser considerado nas quantificações da poluição. Desde modo os dados são fornecidos na literatura ou realçam este facto como, por exemplo, a seguinte citação.

“A poluição na fabrica de tijolo cerâmico é 202 kg de CO₂ por tonelada de produção incluindo o transporte até a obra ou seja 28 kg de CO₂ por m² para construção de uma parede com 10 cm de espessura”.¹

As seguintes tabelas constituem uma base geral de dados ecológicos para a quantificação da poluição pelo transporte dos materiais de construção.

TABELA 6: Emissão de CO₂ associada aos transportes com camiões

Tipo de camião	Massa (t)	CO ₂ (kg/t.km)
Rígido	3.5 - 7.5	0.563
Rígido	7.5 - 17	0.747
Rígido	> 17	0.969
Articulado	3.5 - 33	0.817
Articulado	> 33	0.929

Fonte: *Factsheets, UK Transport and Climate Change data, Department for Transport, Reino Unido, 2008*

TABELA 7: Emissão e consume de energia primária de diversos meios de transporte

Emissão e Energia	Marítimo	Ferrovário	Rodoviário
Emissão** de CO ₂ g CO ₂ / ton.km	18	23	89
Energia* (kJ/ton.km)	274	200	402

Fonte: * Transportation Energy Data Book, EUA, 2008

** DB Mobility Networks Logistics, Caminho de ferros de Alemanha, Sustainability Report 2009

¹ Fonte: The Brick Development Association, Reino Unido, 2009

O transporte dos materiais de construção é feito principalmente pela via rodoviária, uma vez que se trata de distâncias pequenas. Portanto, verifica-se que o gasto energético com 402 kJ/(t.km) ou seja 0,000402 MJ/ (kg.km) no transporte rodoviário é pequeno em relação ao consumo de energia na fabricação do material de construção. Os dados referidos na tabela 7 de Caminho de Ferro de Alemanha para as emissões são conforme a norma alemã DIN 70030 parte 2, o transporte com camiões, e os dados de *Transportation Energy Data Book* estão de acordo com as directivas da EPA, *Environmental Protection Agency*, e as instruções normativas de CAFE, *Corporate Average Fuel Economy*, de Estados Unidos de America. O capítulo 4.2 explica os dados e os cálculos em pormenor.

4. O Modelo Paramétrico e as Unidades Funcionais

As informações e conclusões obtidas suportam a elaboração e a definição do modelo paramétrico de análise de edifícios em alvenaria estrutural, necessário ao estabelecimento dos limites, em especial a altura e a relação entre a planta e a altura, que permitem sistematizar a possível utilização estrutural de edifícios em alvenaria estrutural, com base, na geometria em planta e na altura.

O modelo paramétrico é um modelo ideal que abrange todos os problemas de estabilidade conforme as indicações do Eurocódigo 6 que regulamenta as estruturas de alvenaria. As dimensões e os vãos do modelo devem corresponder às dimensões médias usuais. Neste sentido, para o modelo paramétrico estimam-se quatro vãos diferentes, de 2m, 4m, 6m e 7m.

Um dos modelos a estudar terá uma planta com a forma apresentada na Figura 20 correspondente a uma área de construção de 167,6 m²:

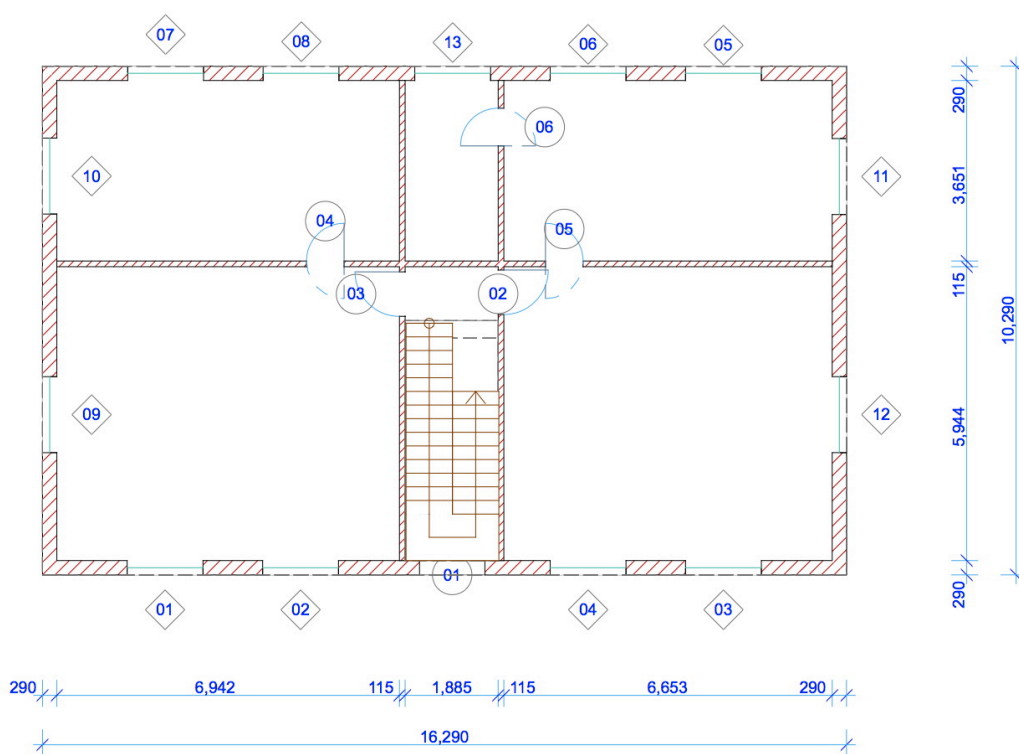


FIGURA 20: Planta do R/Chão

Neste modelo encontram-se quartos com as dimensões usuais, com janelas e portas. Existe também uma escada com patamar apoiado na parede exterior. Esta constelação é o cenário pior. Pelo Eurocódigo 6 a excentricidade das forças internas verticais deve ser analisado. As alturas livres, pé-direitos, diferentes no pano da parede exterior podem aumentar as excentricidades das forças verticais (ver FIGURA 21).

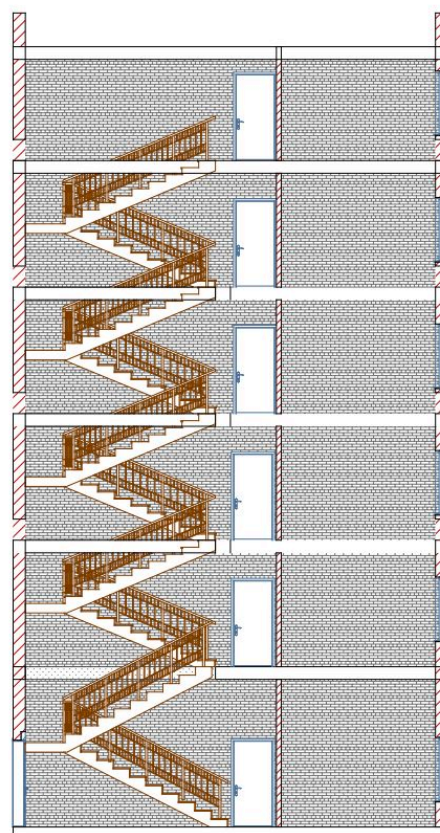
Os outros parâmetros importantes são a baixa resistência em relação à tracção na zona das juntas e o perigo de encurvadura da parede, que resulta da altura e da baixa aderência entre o bloco e a camada de assentamento em argamassa. Neste contexto, no modelo escolhido, todos estes parâmetros estão relacionados e a análise de estabilidade, a desenvolver pretende identificar-os.

O edifício modelo vai ser analisado em duas soluções construtivas, em alvenaria estrutural sem armadura e em construção convencional, o que significa uma estrutura reticulada em betão armado e as paredes exteriores e interiores em alvenaria como é costume construir em Portugal.

FIGURA 21: Corte escada



FIGURA 22: Vista 3D



O modelo deverá ser dividido em unidades funcionais para dar aos donos da obra, aos arquitectos e engenheiros a liberdade de poder decidir qual a solução estrutural é mais económica ou ecológica. A seguinte citação confirma esta abordagem com a norma ISO14040:

“A norma ISO 14040 recomenda que o âmbito de um estudo ACV deve especificar claramente as funções do sistema a ser estudado. A unidade funcional é uma medida do desempenho das saídas funcionais do sistema de produto, que constitui a referência para a qual as entradas e as saídas são relacionadas. Esta referência é necessária para assegurar que a comparabilidade dos resultados ACV é feita numa base comum, sendo particularmente crítica quando diferentes sistemas estão a ser avaliados.

A função de uma empresa que se dedica por exemplo, à pintura será executar pinturas. A unidade funcional para um sistema de pintura pode ser “uma unidade de superfície coberta”, se a função é deixar uma cobertura protectora e decorativa numa superfície de madeira. Se a função é alterada para incluir durabilidade, a unidade funcional pode ser “uma unidade de superfície protegida por um período de tempo definido” (Tibor, 1996).”¹

Assim, a análise de unidades funcionais é mais específica contrariamente à análise do modelo paramétrico que tem carácter mais genérico. Entretanto, estas unidades devem ter a mesma função em todos aspectos de arquitectura e engenharia, especialmente na estabilidade, no comportamento térmico e acústico. Unidades funcionais podem ser paredes, pilares, lajes ou tectos, janelas, portas, escadas entre outros.

Neste caso parece ser interessante analisar unidades de paredes exteriores e interiores com vãos diferentes de 4, 6 e 7 metros. As unidades têm as mesmas funcionalidades em termos de estabilidade e comportamento térmico e acústico, para diferentes vãos e pisos, mas dependendo do material usado, para assegurar a mesma funcionalidade, as paredes são diferentes na quantidade de material usado. Deste modo, as paredes do mesmo vão e piso podem ser comparadas.

¹ José Vincente R. Ferreira, Análise de Ciclo de Vida, (FCT/UNL) de Instituto Politécnico de Viseu de 2004

Deste modo as unidades funcionais, paredes exteriores e interiores, vão ser avaliadas e comparadas, quer em construção convencional (estrutura reticulada), quer em alvenaria estrutural. Esta avaliação e comparação será muito específica em relação aos dados de economia e ecologia. Em seguida, o modelo paramétrico pode ser avaliado da mesma forma para obter uma informação global sobre as diferenças na construção convencional e na alvenaria estrutural. Estas diferenças devem ser expressas numa forma adequada que caracteriza estes dois sistemas da construção.

4.1 Análise Estrutural

4.1.1 Alvenaria

A avaliação da estabilidade permite detectar e verificar os problemas da forma e geometria, e potenciar o desenvolvimento de soluções mais específicas e adequadas. Por este motivo, várias combinações de geometria, funções e altura são estudadas para poder obter um sistema construtivo com os tipos mais adequados de blocos cerâmicos.

A solução em alvenaria estrutural consiste numa estrutura sem reforço com armaduras. Sendo assim a análise tem em consideração os problemas de tracção entre os blocos por motivo de excentricidade das forças verticais, a ductilidade, a resistência à compressão e as acções dinâmicas geradas pelas forças sísmicas.

A escolha dos blocos cerâmicos tem que ter em consideração os dados recentes de sustentabilidade obtidos num levantamento nas fábricas e instituições (ver Tabela 3), os blocos devem também cumprir os requisitos da regulamentação para edifícios, de modo a assegurar a qualidade e a vertente do bem-estar da sustentabilidade. Estes regulamentos são:

Para o conforto ambiental

- o Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)
- o Decreto-Lei 96/2008 de 9 de Junho e o Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio, que aprovou o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)
- o Decreto-Lei 146/2006 de 31 de Julho e o Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro que aprovou o Regulamento Geral de Ruído (RGR)

- o Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro que regula a Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE)

Para a avaliação da estabilidade

- o Eurocódigo 2, parte 1-1, Projecto de estruturas de betão
- o Eurocódigo 6, parte 1-1, *Design of Masonry structures*
- o Eurocódigo 8, parte 1-1, Disposições para projectos de estruturas sísmo-resistentes

Para uma melhor visualização do edifício modelo a estudar propõe-se uma caracterização:

CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EDIFÍCIO

Edifício com paredes exteriores e interiores de alvenaria estrutural.

Numero de pisos: 6, altura máxima 18.50 m

Cobertura plana

Uso: Habitação ou escritórios

Localização: Lisboa, Zona Sísmica e Eólica A

CARACTERÍSTICAS DA COBERTURA E LAJES

Laje maciça de betão armado de 20 cm de altura, peso específico: 25kN/m³

CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS PAREDES

Paredes de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos,

Paredes exteriores em tijolo térmico, e paredes interiores em tijolo de clínquer.

Espessura: parede exterior 290 mm, tijolo térmico

parede interior 115 mm, tijolo clínquer

Resistência à compressão de blocos de 290 mm: $f_b = 10 \text{ N/mm}^2$

Resistência à compressão de blocos de 115 mm: $f_b = 45 \text{ N/mm}^2$

Peso específico de blocos de 290 mm: $\rho = 13 \text{ kN/m}^3$

Peso específico de blocos de 115 mm: $\rho = 19 \text{ kN/m}^3$

Argamassa: M7,5 ($f_m = 7,5 \text{ N/mm}^2$)

Com os resultados da análise da estabilidade podem-se definir os blocos cerâmicos para as paredes exteriores e para as paredes divisórias e dar início à análise da sustentabilidade.

Uma das particularidades da alvenaria estrutural é o problema da excentricidade das forças verticais. A excentricidade pode ter vários motivos, pode ser pelos erros de

construção, por imperfeição da geometria ou do material, especialmente no caso dos blocos cerâmicos. O fenómeno da excentricidade é muito comum, detecta-se na maioria dos edifícios e mostra-se no mínimo como fissuras horizontais, diagonais ou verticais nas paredes. Nos casos mais graves pode causar degradações sérias, inclusive o colapso de uma parede. Este facto, dependente das dimensões de estrutura e das propriedades do material, pode pelo Eurocódigo 6 facilmente causar o incumprimento de estrutura por excentricidade excessiva. Embora no caso de uma estrutura convencional, a excentricidade da força na, secção de um pilar deve ser analisada, mas nunca constitui um perigo tão grave como na alvenaria estrutural.

Neste sentido a verificação de excentricidade em todos os pisos, para todas as paredes e a sua prova de cumprimento tem grande importância na alvenaria estrutural. As forças internas verticais crescem com a altura do edifício e com o aumento da excentricidade em altura na zona das escadas, no interior, temos mais dois parâmetros dominantes entre os vários que balizam o edifício. Os outros parâmetros importantes são a baixa resistência em relação à tracção (aderência) na zona das juntas e o perigo de encurvadura da parede que resulta da aderência e da altura/esbelteza.

Da mesma forma a verificação de cumprimento da estrutura para a resistência à compressão, a ductilidade e as acções sísmicas analisam-se com rigor (ver ANEXO B).

Outra particularidade de alvenaria é a ductilidade dos blocos cerâmicos. Para assegurar a qualidade, a análise de estabilidade de alvenaria estrutural tem que tomar em conta estes factos e criar uma base adequada para poder comparar a estrutura em alvenaria com a estrutura em betão armado. Assim, no modelo escolhido todos estes parâmetros são tidos em conta e o dimensionamento estrutural pode ser realizado, mas decidiu-se, por motivos de segurança, iniciar a análise com 5 pisos e, se for possível, aumentar o número de pisos.

A análise de estabilidade é feita manualmente para poder verificar e compreender melhor os problemas e para poder encontrar soluções mais específicas e adequadas. Por outro lado, entre os programas informáticos que se utiliza no nível nacional para análise automática de estabilidade não existe um programa geral adequado para as estruturas de alvenaria que inclua também a verificação das acções sísmicas. De acordo com as recomendações de Eurocódigo 6 a argamassa utilizada tem uma resistência à compressão de $7,5 \text{ N/mm}^2$ para todos os cálculos.

No primeiro cálculo, tenta-se estudar um o edifício com 5 pisos e foi escolhido um tijolo de qualidade clínquer com as seguintes características:

TABELA 8: Tijolo Cerâmico Maciço

$l * c * a$ (mm)	ρ (kN/m ³)	f_b (N/mm ²)	f_k (N/mm ²)	f_d (N/mm ²)	E (kN/mm ²)	E I (10 ⁶ kN cm ²)
228 x 108 x 70	19	80	15.06	5.58	15.06	148.75

Nota: Categoria II - HD, segundo NP EN 771-1:2005, e Grupo 1, segundo EC 6, NP ENV 1996-1-1:2000, dados de fabricante

onde

l	largura
c	comprimento
a	altura
ρ	peso específico
f_b	resistência à compressão pela fábrica
f_k	resistência à compressão reduzida pelo EC 6
f_d	resistência à compressão reduzida com factor de segurança conforme com EC 6
E	Módulo de elasticidade, $E = 1000 f_k$ pelo EC 6
$E I$	Módulo de rigidez

O maior peso específico e a maior resistência à compressão simples implica um aumento do esforço normal na parede exterior e, sucessivamente, um aumento do módulo de elasticidade e de rigidez. Finalmente, estes factores causam um aumento do momento flector e a excentricidade

$$e = M / N$$

onde: e = excentricidade; M = momento flector; N = esforço normal

torna-se em excesso que significa aderência ou tensão negativa. Esta situação ocorre já no 4º piso na parede exterior, inferior ao patamar de escada, a tensão excede o limite estabelecido pelo Eurocódigo 6 e obriga a procurar outras soluções.

Na análise do momento flector, conforme o Eurocódigo 6 na seguinte equação, verifica-se que a rigidez das envolventes, paredes exteriores e interiores e as lajes tem um grande impacto.

$$M_1 = \frac{n_1 E_1 I_1 / H_1}{n_1 E_1 I_1 / H_1 + n_2 E_2 I_2 / H_2 + n_3 E_3 I_3 / L_3 + n_4 E_4 I_4 / L_4} \left(\frac{q_3 L_3^2}{12} - \frac{q_4 L_4^2}{12} \right)$$

onde:

- n_i factor de rigidez, $n=4$ para envoltentes que estão apoiados nos dois lados, caso contrario $n=3$
- E_i módulo de elasticidade da envoltente i , $i = 1, 2, 3$ ou 4
- I_i momento de inércia da envoltente i , $i = 1, 2, 3$ ou 4
- H_i altura da envoltente i , $i = 1$ ou 2
- L_i vão da envoltente i , $i = 3$ ou 4
- q_i carga distribuída da envoltente i , $i = 3$ ou 4

A rigidez da envoltente em causa implica uma menor redução do momento flector, mas a rigidez das envoltentes na vizinhança são favoráveis e reduzem o momento flector drasticamente.

Assim, altera-se o bloco cerâmico maciço para um bloco perfurado menos rígido de qualidade clínquer com as seguintes características:

TABELA 9: Tijolo Cerâmico Face a Vista Klinker/Gres

I * c * a (mm)	ρ (kN/m ³)	f_b (N/mm ²)	f_k (N/mm ²)	f_d (N/mm ²)	E (kN/mm ²)	E I (10 ⁶ kN cm ²)
237 x 115 x 70	13	45	10.81	4	10.81	119.92

Nota: Categoria II - HD, segundo NP EN 771-1:2005, e Grupo 2a, segundo EC 6, NP ENV 1996-1-1:2000, dados de fabricante

onde

- I largura
- c comprimento
- a altura
- ρ peso específico
- f_b resistência à compressão pela fabrica
- f_k resistência à compressão reduzida pelo EC 6
- f_d resistência à compressão reduzida com factor de segurança conforme com EC 6
- E Módulo de elasticidade, $E = 1000 f_k$ pelo EC 6
- $E I$ Módulo de rigidez

Esta solução verifica-se mas a excentricidade atinge ao limite, o que não é favorável. A razão é mais uma vez a rigidez da parede de alvenaria. A conclusão obtida nesta

fase é que a rigidez provoca mais excentricidade do esforço normal e menos elasticidade e ductilidade (deformação) resulta no levantamento do bloco, ver Figura 23.

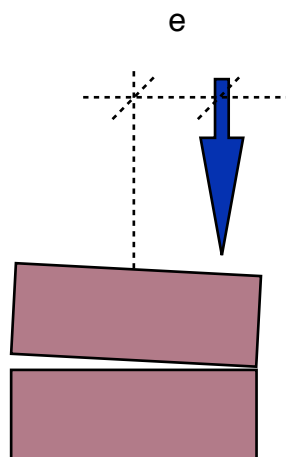


FIGURA 23: Efeito de excentricidade

A partir destes resultados decidiu-se fazer uma nova proposta e aumentar o número de pisos para 6, uma vez que o cálculo anterior se verificou, e obter para um bloco cerâmico menos rígido mas com a resistência mecânica suficiente exigida pelo EC 6. A escolha proposta é um tijolo térmico com as seguintes características:

TABELA 10: Tijolo térmico, Grupo 2b, segundo EC 6, dados de fabricante

$l * c * a$ (mm)	ρ (kN/m ³)	f_b (N/mm ²)	f_k (N/mm ²)	f_d (N/mm ²)	E (kN/mm ²)	$E I$ (10 ⁶ kN cm ²)
290 x 300 x 190	13	10	5.14	1.9	5.14	104.47

onde

l largura

c comprimento

a altura

ρ peso específico

f_b resistência à compressão pela fabrica

f_k resistência à compressão reduzida pelo EC 6

f_d resistência à compressão reduzida com factor de segurança conforme com EC 6

E Módulo de elasticidade, $E = 1000 f_k$ pelo EC 6,

$E I$ Módulo de rigidez

Utilizando este tipo de tijolo, as condições de segurança segundo EC 6, não se verificam para as paredes divisórias na zona interior. Nas paredes divisórias, as cargas verticais devido aos pesos da lajes é quase o dobro. Estes blocos não satisfazem a resistência dos esforços normais. Sendo assim, decide-se manter o bloco para a parede exterior e apenas alterar o bloco da parede divisória para o bloco perfurado.

A TABELA 11 resume os resultados de três versões de dimensionamento e mostra as relações entre rigidez, momento flector, excentricidade e tensão. Para simplificar a comparação a tabela limita-se à parede exterior na zona da escada e o piso 3, onde no primeiro caso a tensão não satisfaz a segurança. A tabela mostra só os dados superior e inferior do patamar da escada.

TABELA 11: Comparação dos dados para piso 3

Parede exterior z/patamar	Parede Muito Rígida			Parede Rígida			Parede Menos Rígida		
	M	e	σ	M	e	σ	M	e	σ
Superior	9.73	98.9	n/verif.	4.88	58.00	1.62	3.63	116	0.88
Inferior	-	-	-	10.2	71.6	2.48	3.66	116	0.44

onde

M Momento flector (kNm)

e Excentricidade (mm)

σ Tensão (N/mm²)

Neste quadro verifica-se que no caso da Parede Muito Rígida e Menos Rígida há excentricidades elevadas mas no primeiro há tensões negativas e no último as tensões são razoáveis e mais equilibrados entre as zonas superior e inferior do patamar. No caso de Parede Rígida as excentricidades são razoáveis, mas a discrepância entre as tensões resulta numa aproximação ao estado limite no primeiro piso ou seja no r/chão que baliza o edifício com 5 pisos.

■ Parede Muito Rígida ■ Parede Rígida ■ Parede Menos Rígida

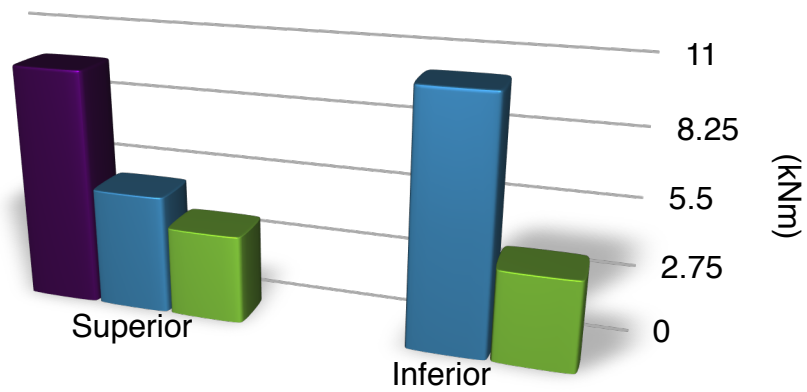


FIGURA 24: Momento flector para os diferentes tipos de parede na zona superior e inferior do patamar.

■ Parede Muito Rígida ■ Parede Rígida ■ Parede Menos Rígida

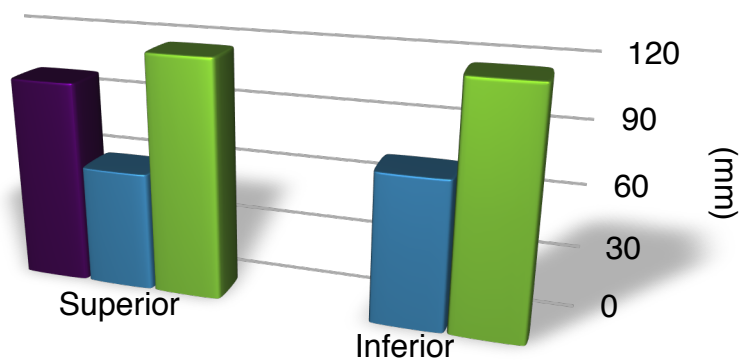


FIGURA 25: Excentricidade para os tipos diferentes da parede na zona superior e inferior do patamar.

■ Parede Muito Rígida ■ Parede Rígida ■ Parede Menos Rígida

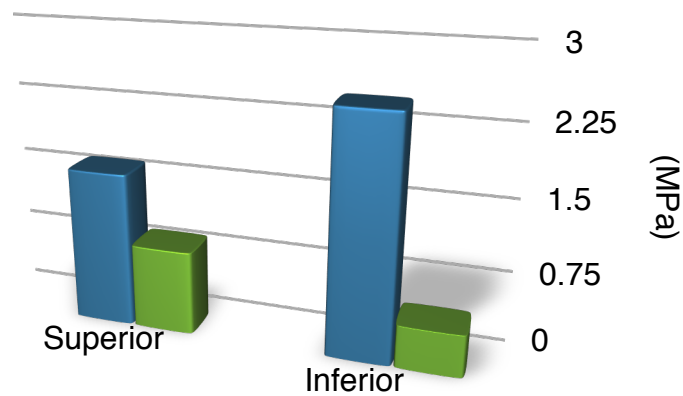


FIGURA 26: Tensão tangencial para os tipos diferentes da parede na zona superior e inferior do patamar.

Na FIGURA 26 a tensão tangencial da Parede Muito Rígida não está representada, uma vez que na zona superior a tensão não satisfaz as exigências do Eurocódigo 6, conforme com a TABELA 11.

Com estes dados parece admissível combinar os resultados dos dois últimos cálculos ou seja aplicar o bloco menos rígido para a parede exterior e alterar o bloco da parede divisória para o bloco perfurado rígido já usado no segundo cálculo, embora com menos largura para poder controlar a rigidez. Assim o objectivo da utilização de duas qualidades de blocos cerâmicos, além de tentativa de aumentar o número de pisos, podia ser um reforço para dar mais resistência a estrutura sem chegar ao estado limite como no cálculo anterior.

As características dos blocos são os seguintes já anteriormente utilizados:

TABELA 12: Propriedades dos blocos cerâmicos escolhidos

$l * c * a$ (mm)	ρ (kN/m ³)	f_b (N/mm ²)	f_k (N/mm ²)	f_d (N/mm ²)	E (kN/mm ²)	$E I$ (10 ⁶ kN mm ²)
1. 290 x 300 x 190	13	10	5.14	1.90	5.14	10447
2. 115 x 237 x 70	13	45	14.72	5.45	14.72	1865

1. Tijolo térmico, Grupo 2b, segundo EC 6, dados de fabricante

2. Tijolo Cerâmico Face a Vista Klinker/Gres, Categoria II - HD, segundo NP EN 771-1:2005, e Grupo 2a, segundo EC 6, NP ENV 1996-1-1:2000, dados de fabricante

onde

l largura

c comprimento

a altura

ρ peso específico

f_b resistência à compressão pela fábrica

f_k resistência à compressão reduzida pelo EC 6

f_d resistência à compressão reduzida com factor de segurança conforme com EC 6

E Módulo de elasticidade, $E = 1000 f_k$ pelo EC 6,

$E I$ Módulo de rigidez

Neste cálculo, a parede exterior como foi confirmado no cálculo anterior e a redução da espessura da parede divisória com menos largura e menos rigidez mas mais resistência confirma-se. Este resultado é devido ao facto que as paredes divisórias estruturais apoiarem os tectos de ambos os lados e se não há grande diferença entre os vãos podemos considerar os tectos em balanço sem necessidade de grandes áreas de suporte na parede divisória. Desta forma a parede divisória com menos

largura não tem problemas de excentricidade nos blocos, só precisa de resistência suficiente para assegurar as forças verticais.

A conclusão da análise é que um edifício de alvenaria estrutural superior de dois pisos necessita nas paredes exteriores blocos mais espessos com uma resistência, mínima de 10 N/mm^2 , suficiente para resistir às forças verticais, para poder limitar a excentricidade e evitar tensões negativas. Pelo mesmo motivo necessita de uma laje de tectos com rigidez suficiente e com mínima flecha. As paredes divisórias estruturais necessitam blocos mais resistentes para suportar o peso principal do edifício, ou seja as cargas verticais mais elevadas, e com menos largura para evitar a excentricidade exagerada. Considerando estes factos e cumprindo o Eurocódigo 6 e 8 é possível construir edifícios até 6 pisos. (ver ANEXO B)

4.1.2 Betão Armado

O dimensionamento da estrutura em betão armado segue as linhas gerais da análise anterior. As paredes ficam iguais para poder cumprir o regulamento RCCTE, já mencionado, e para evitar gastos adicionais de isolamento e manter o edifício igual em termos económicos. As lajes maciças de betão armado ficam também iguais para manter a mesma qualidade estrutural e acústica, evitando problemas de percussão e permitindo uma comparação mais adequada. Em princípio a única diferença são os pilares, que com as lajes e as vigas constituem uma estrutura reticulada de betão armado.

As paredes divisórias, uma vez que não tem uma função estrutural, podem ter menos resistência. Neste caso, habitual na construção convencional, estrutura reticulada em betão armado, são utilizados blocos cerâmicos com menos resistência à compressão simples. Estes blocos são mais económicos.

A análise estrutural com os programas informáticos SAP 2000 e CYPE chega à mesma conclusão. Com várias simulações diferentes é determinado a solução mais económica. Na análise estrutural de edifício modelo em betão armado os Regulamentos de Segurança e Acção, Edifícios em Betão Armado e Pré-esforçado, e Eurocódigo 2 e 8 são considerados. A simulação de cálculo automático confirma as dimensões e verifica-se que as dimensões das vigas, lajes e dos pilares estão dentro do estado limite como o modelo em alvenaria estrutural, (ver ANEXO C). No próximo capítulo apresenta-se as diferenças estruturais entre as duas soluções construtivas.

4.1.3 Comparação do Dimensionamento Estrutural das Duas Soluções

Para as duas soluções construtivas, o edifício modelo está dimensionado para a mínima utilização dos materiais de construção, garantindo a sua segurança conforme os regulamentos mencionados nos capítulos anteriores. A comparação das quantidades dos materiais de construção utilizados para as duas estruturas pode mostrar a tendência e a orientação deste estudo, uma vez que a parametrização adoptada depende da quantidade do material.

TABELA.13, Comparação das massa em kg

Material	Construção Convencional	Alvenaria Estrutural	Diferença (AE-CC)	Diferença (%)
Tijolo (exterior)	248,417	294,216	45,799	18.44
Tijolo (interior)	67,210	77,129	9,919	14.76
Betão	939,693	695,020	-244,673	-26.04
Aço, armadura	53,675	39,424	-14,251	-26.55
Argamassa	51,687	54,563	2,876	5.56
Total	1,360,682	1,160,352	-200,330	-14.72

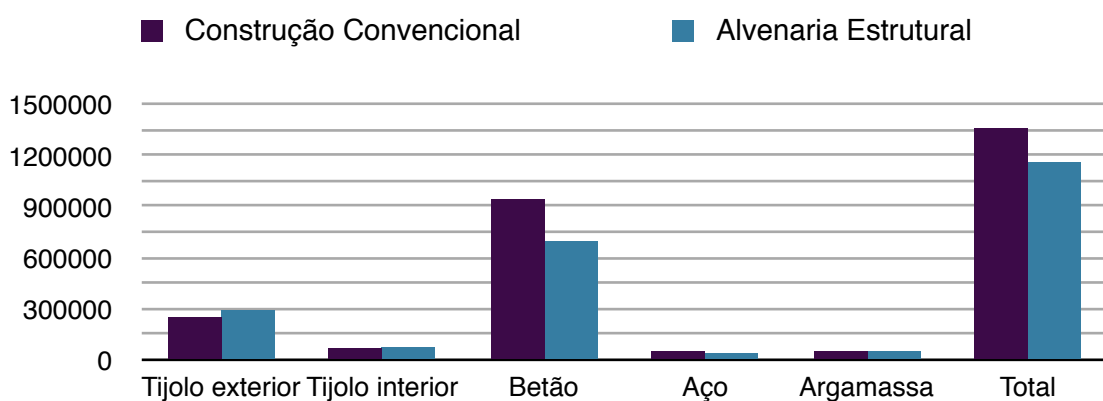


FIGURA 27, Comparação das quantidades dos materiais de construção nas duas soluções construtivas em kg

A quantidade de betão utilizado é dominante nesta comparação. A diferença resulta da existência de pilares na estrutura convencional e das lajes mais rígidas para

aumentar a resistência à torção das vigas. As tabelas seguintes mostram estas diferenças em pormenor.

TABELA 14, Comparação das características estruturais do edifício modelo nas duas versões construtivas

DESIGNAÇÃO DO ELEMENTO	CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	ALVENARIA ESTRUTURAL
Vigas (altura, cm)	40	20
Lajes (altura, cm)	20	20
Pilares (numero)	12	0
Escada (numero)	1	1
Parede exterior (largura, cm)	29	29
Parede interior (largura, cm)	10.6	11.5
Fundação	igual	igual
Pisos	6	6
Área de construção (m ²)	1,005.75	1,005.75

Nota: Os cálculos de tabela encontram-se nos anexos E e F

TABELA 15, Comparação das quantidades dos materiais de construção por elementos construtivos (kg)

QUANTIDADE kg	CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	ALVENARIA ESTRUTURAL	DIFERENÇA
Vigas (betão)	294,405	236,051	58,354
Lajes (betão)	548,673	437,974	110,699
Pilares (betão)	75,620	0	75,620
Escada (betão)	20,995	20,995	0
Aço em reforço do betão	53,675	39,424	14,251
Parede exterior (tijolo)	248,417	294,216	-45,799
Parede interior (tijolo)	67,210	77,129	-9,919
Argamassa exterior	44,338	46,824	-2,486
Argamassa interior	7,350	7,739	-389
TOTAL	1,360,683	1,160,352	200,331

Nota: Os cálculos de tabela encontram-se nos anexos E e F

Verifica-se uma redução da utilização do aço e do betão na construção em alvenaria estrutural em 259 t, 26 %, enquanto há um aumento de 59 t, 16 %, do bloco

cerâmico, o que significa em grosso modo uma substituição de betão armado por tijolo cerâmico.

4.2 Análise Ambiental

A análise ambiental baseia-se na verificação de energia incorporada e do dióxido de carbono emitido na fabricação e transporte dos materiais de construção, para os modelos em alvenaria estrutural e em construção convencional. Uma avaliação da vida útil da obra e os recursos humanos envolvidos também serão necessários para poder fazer uma comparação global. Tendo em atenção que a utilização de energia e emissão de CO₂ são os parâmetros mais relevantes na avaliação ambiental optou-se por considerar somente estes dois parâmetros na análise comparativa das duas soluções estudadas.

A análise de sustentabilidade deve ser feita conforme com a norma ISO 14040, que regulariza internacionalmente a avaliação ambiental e o ciclo de vida dos produtos. Por esta norma as condições para a recolha de dados, o procedimento de cálculo, a análise até à apresentação dos dados são normativamente definidos. José Vicente Rodrigues Ferreira¹ apresenta este processo detalhadamente.

Um dos requisitos principais é a recolha de dados actualizados de gastos energéticos e de emissão de dióxido de carbono na produção de materiais de construção considerados neste trabalho. O acesso a estes dados não é fácil uma vez que, por um lado, a indústria não se dispõe da revelar estes dados e, por outro lado, a maioria das fábricas são de pequena dimensão e não dispõe este tipo de elementos.

Os dados usados foram de uma fábrica de grande dimensão com a aplicação da tecnologia avançada (ver Tabela 16) e mais dois documentos, “*INVENTORY OF CARBON AND ENERGY*” (ICE) de 2008 da “*University of Bath*” (UB) com os dados de Inglaterra, uma publicação do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV), “*DADOS DE REFERÊNCIA PARA BENCHMARKING*” de 2004 com os dados de Portugal. O último documento confirma os dados obtidos de um fabricante em Portugal. Além destes dados actuais também recorreu-se a mais duas fontes. Um

¹ José Vicente Rodrigues Ferreira, Análise de Ciclo de Vida dos Produtos, (FCT/UNL) de Instituto Politécnico de Viseu de 2004, (Anexo H)

levantamento dos dados em Espanha, “GUÍA DE L'EDIFICACIÓN SOSTENIBLE”¹ e outro² com dados ecológicos gerais e actualizados dos materiais de construção, que podem considerar como referencial, uma vez que estes dados são levantados ao nível Europeu.

Os dados de consumo da energia na produção são apresentadas em unidades diferentes, como MJ/kg ou kWh/kg. Para uma melhor comparação apresenta-se estes dados em MJ/kg, admitindo que:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

Os dados de poluição por emissão de dióxido de carbono são fornecidos em unidades de t.CO₂/t, g.CO₂/kg ou kg.CO₂/kg. Neste trabalho decidiu-se adoptar kg.CO₂/kg.

As instituições e autores referidos em cima apresentam os dados de acordo com o tipo de energia utilizada, nomeadamente de energia eléctrica e térmica, e em função da dimensão da fábrica, da pequena, média e grande dimensão. Nota-se também que a estatística e os resultados obtidos baseiam-se mais na utilização da energia térmica, a energia eléctrica tem só um contributo cerca de 20%. Os valores utilizados neste contexto são valores mistos e são medianas para aumentar a probabilidade de uma comparação justa dos dados.

TABELA 16, Comparação de consumo de energia e emissão de CO₂ no fabrico da unidade cerâmica

	UB Inglaterra 2008	CTCV Portugal 2004	FÁBRICA Portugal 2010	IC Espanha 1999	UM Europa 2007
CONSUMO DE ENERGIA (MJ/kg)	3.0	1.37	1.02	4.5	2.99
PRODUÇÃO DE CO ₂ (kgCO ₂ /kg)	0.22	0.112	0.100	-	0.19

¹ Rovira Fontanals, Josep Lluís, Casado Martinez, de Institut Cerdà (IC), Imma de 1999

² “Ecologia dos Materiais de Construção”, uma obra de autor Bjorn Berge de ano 1999, traduzido e adaptado para Português em 2007, pelo Said Jalali, F. da Eira Marcelo e J.A Nelson da Universidade Minho (UM)

Na TABELA 16 a comparação dos dados mostra que os dados de CTCV são significativamente mais baixos. A razão encontra-se no período de análise da estatística. As outras instituições analisaram os dados das fábricas durante um período de vários anos começando em 1995 com certo rigor. Entretanto estes dados, que são valores médios, reflectem também os anos que a indústria ainda não tinha tomado medidas para reduzir a energia e a poluição na produção. Ao contrário o levantamento de CTCV refere-se apenas ao ano 2004 com dados mais recentes da indústria já aplicando as novas tecnologias de fabricação com as novas medidas de redução da energia e poluição. Os valores das fábricas portuguesas incorporam já o avanço tecnológico. Pelo protocolo de Quioto os países industriais combinaram uma redução de 25% a 40% das emissões até 2020. Portanto, uma vez que esta investigação quer analisar os futuros possíveis desenvolvimentos inclina-se pelos dados da fábrica indicando o progresso.

Para os dados de betão e cimento utiliza-se as mesmas fontes com excepção de dados para Portugal. Aqui serve o documento da Empresa CIMPOR, maior produtor de cimento em Portugal que revela no seu último relatório anual “RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE '08” os valores relacionados com a produção de cimento em 2008.

TABELA 17, Comparação de consumo de energia e emissão de CO₂ no fabrico do Cimento

	UB Inglaterra 2008	CIMPOR Portugal 2008	IC Espanha 1999	UM Europa 2007
CONSUMO DE ENERGIA (MJ/kg)	4.6	3.591	7.02	4.00
PRODUÇÃO DE CO ₂ (kgCO ₂ /kg)	0.83	0.676	-	-

Na TABELA 17 os dados da CIMPOR são mais relevantes para Portugal, uma vez que representam o consumo energético e a poluição real do ano 2008 e não representam como as outras fontes valores médios de vários anos e de outros países.

Considera-se que o cimento constitua cerca 14% da massa de betão, a água (com razão água/cimento=0,5) entre 6 e 7% e os restantes 80% constituem os agregados. Pode-se concluir que proporcionalmente a emissão de CO₂ na fábrica de betão é de 0,10 kgCO₂/kg, com 0,095 para o cimento (14%) e 0,005 (80%) para os agregados, considerando que a contribuição de água é desprezável. A emissão de CO₂ na

produção de agregados é composto pela trituração dos agregados utilizando energia térmica e a mistura na central de betão com energia eléctrica. Confirma-se que no documento ICE o valor da emissão de CO₂ na produção de agregados é igual. Uma vez que o processo seja em Portugal ou Inglaterra é igual e não há um desenvolvimento tecnológico neste processo, visto que a poluição produzida além de pó é baixa. Da mesma forma pode-se determinar os valores para o consumo de energia na produção de betão. O valor atribuído para betão é de 0,81 MJ/kg, com 0,504 para o cimento e 0,307 para os agregados e a água. Estes valores aparecem como próprio levantamento (S) na tabela seguinte.

TABELA 18, Comparação de consumo de energia e emissão de CO₂ no fabrico do Betão

	UB Inglaterra 2008	S Portugal 2008	IC Espanha 1999	UM Europa 2007
CONSUMO DE ENERGIA (MJ/kg)	0.95	0.81	1.008	1.00
PRODUÇÃO DE CO ₂ (kgCO ₂ /kg)	0.13	0.10	-	0.065

A recolha de dados sobre a produção de aço, nomeadamente os varões utilizados no betão armado, e a análise e a justificação dos dados em relação à energia incorporada e à emissão de CO₂ torna-se muito difícil e complexa. Em primeiro lugar a indústria do aço é, entre as indústrias em geral, a maior produtora de CO₂ no mundo. A indústria do aço assume esta responsabilidade e na Europa há vários projectos de desenvolvimento de tecnologias para a redução de emissão de CO₂ e também para a armazenagem de CO₂ e a sua utilização para a produção da electricidade. O mais conhecido projecto é ULCOS (Ultra Light CO₂ Steel manufacturing). ULCOS é um consórcio das indústrias, respectivas associações e a União Europeia. O projecto está desde ano 2009 na segunda fase (ULCOS II) com o objectivo de reduzir a emissão de CO₂ para metade. Houve também um desenvolvimento significativo na redução da poluição nos últimos 15 anos, como a utilização do forno eléctrico. Neste momento a industria está ainda longe da meta e as respectivas associações não revelam os dados actuais. As indústrias envolvidas neste projecto que estão na área da produção da varões e associações envolvidas consultadas foram:

Industria:

ARCELORMITTAL, Luxemburgo

CORUS, Inglaterra

GRUPO ALFONSO GALLARDO, Espanha

HUTA BONKOWA, Polónia

LKAB, Suécia

RIVA, Itália

RUUKKI, Finlândia

SAARSTAHL, Alemanha

THYSSEN KRUPP, Alemanha

TRAVI E PROFILATI DI PALLANZENO, Itália

VOEST ALPINE, Austria

Associações: EUROFER, European Confederation of Iron and Steel Industries

ESTEP, European Steel Technology Platform

EUROMETAUX, European Association of Metals

QSP, Qualidade Siderúrgica Portuguesa

UNIÓN DE EMPRESAS SIDERÚRGICAS, Espanha

VDEh, Steel Institute, Alemanha

WORLD STEEL ASSOCIATION

Em segundo lugar o problema está na complexidade do fabrico do aço e nos métodos diferentes de produção. Além deste facto alguns dados encontrados referem-se ao aço cru e outros ao aço trabalhado, pronto para a utilização na construção. Mais ainda deve-se ter em atenção se trata de um aço virgem ou aço reciclado.

Decidiu-se por estabelecer valores médios, uma vez que é praticamente impossível trabalhar com valores certos, porque cada encomenda de varões pode ser tratada de um modo diferente pela indústria e quase nunca é possível definir a energia incorporada do aço fornecido, e as emissões de CO₂ com rigor.

Os dados fornecidos de relevância são mais uma vez do documento ICE de Universidade de Bath (UB) e do livro “Ecologia dos Materiais de Construção” de Universidade Minho (UM), do documento “Energy Management” do Steel Institute (SI), Alemanha, do documento “Insights from Steel - Benchmarks and Environment”, da empresa Thyssen Krupp (TK), Alemanha.

TABELA 19, Comparação de consumo de energia e emissão de CO₂ no fabrico de armadura em aço

	UB 2008			SI 2009	TK 2009	UM 2007
	virgem	reciclado	médio	cru	virgem/ trabalhado	virgem/ trabalhado
CONSUMO DE ENERGIA (MJ/kg)	36.40	8.8	24.60	18.4	-	10.00
PRODUÇÃO DE CO ₂ (kgCO ₂ /kg)	2.68	0.42	1.71	1.36	2.0	0.557

Considerando os dados da TABELA 19 e os factos em cima mencionados, os valores médios para os varões no documento ICE reflectem mais a realidade e são mais adequados para esta análise. Sendo assim o valor médio para o consumo de energia será considerado 24,60 MJ/kg e a poluição pelo CO₂ de 1,71 kgCO₂/kg.

Em relação ao fabrico dos varões de aço para as armaduras de betão, salienta-se, que estes varões são importados e a siderurgia considerada localiza-se em Bilbao, Espanha. O Instituto Nacional de Estatística, INE, nas estatísticas de 2010¹ confirma na pagina 59, que em Portugal não existe fabrico dos varões, nem laminagem.

De acordo com as Tabelas 16-19 obtém-se as quantificações de energia incorporada e dióxido carbono produzido para as duas opções construtivas estudadas.

Emissão de dióxido carbono

Unidades cerâmicas	0,100 kg CO ₂ / kg
Betão	0,100 kg CO ₂ / kg
Aço	1,710 kg CO ₂ / kg
Argamassa de resistência de 5 a 10 MPa	0,213 kg CO ₂ / kg

Energia incorporada

Unidades cerâmicas	1,02 MJ / kg
Betão	0,81 MJ / kg
Aço	24,60 MJ / kg
Argamassa de resistência de 5 a 10 MPa	1,40 MJ / kg

¹ Instituto Nacional de Estatística, Estatísticas de Produção Industrial 2009, Edição 2010, Lisboa, 2010

Estes dados referem a fabricação dos materiais de construção até a preparação para o transporte. Portanto este estudo que se dedica à quantificação das emissões e da energia incorporada na construção de edifício modelo, deve considerar também as emissões e a energia incorporada no transporte dos materiais da fábrica até à obra.

4.2.1 Comparação dos Resultados das Unidades Funcionais

As unidades funcionais com a mesma função em termos estruturais neste caso são as paredes exteriores e interiores estruturais. Estas paredes são as únicas unidades diferentes no modelo ideal com a estrutura convencional e no modelo ideal em alvenaria.

Neste caso as unidades funcionais são as paredes com pilares laterais. A unidade da parede para analisar é o produto de pé direito e o vão, considerando que nas zonas laterais há pilares em betão armado, uma vez que as lajes são iguais nas duas estruturas. Estas unidades, na realidade, são também diferentes relativo ao piso, o pilar de betão armado no piso 1 tem uma armadura mais forte para suportar uma carga maior do que o mesmo pilar na sua continuação num piso superior, onde suporta uma carga mais reduzida. Mas uma vez que este facto é evidente, considere-se a distribuição de armadura nos pilares de igual forma e depois da comparação de unidades com iguais pilares e armaduras tira-se as conclusões relativas à distribuição real das armaduras.

As unidades funcionais são consideradas para vãos de 4, 6 ou 7 m e de dois tipos, uma parede exterior com blocos cerâmicos de 290 mm de largura e outra a parede interior com blocos cerâmicos de 110 mm. No caso da construção convencional estas unidades sejam para exterior ou interior têm pilares laterais de 30 cm de largura. No caso de alvenaria estrutural mantém-se o mesmo bloco cerâmico com os mesmos vãos, portanto a diferença é só a existência ou ausência dos pilares. Todas as unidades funcionais em qualquer solução construtiva têm uma altura livre de 2,70 m.

UNIDADE FUNCIONAL - PAREDES EXTERIORES

Para as paredes exteriores, a TABELA 20 mostra claramente que no caso de alvenaria estrutural o aumento das emissões é proporcional ao aumento do vão ou seja o aumento da quantidade de alvenaria. Utilizando o vão de 4 m como valor base, a

coluna Factor mostra o grau da proporcionalidade. O aumento de vão de 50% de 4 m para 6 m ou de 75% de 4 m para 7 m, tem o respectivo aumento da emissão de 50 ou 75%. Ao contrário, a construção convencional com o aumento de vão de 50% tem um aumento de 36% da emissão e para o aumento de vão de 75% um aumento de 55% da emissão. Na construção convencional os vãos maiores são mais favoráveis ambientalmente em comparação com os vãos mais pequenos para a mesma construção.

TABELA 20, Emissões de CO₂ (kg CO₂ / Unidade Funcional)

Unidade Funcional (vão)	Construção Convencional		Alvenaria Estrutural	
	CO ₂	Factor	CO ₂	Factor
4 m	748.34	1.00	545.18	1.00
6 m	1,020.93	1.36	817.78	1.50
7 m	1,157.23	1.55	954.07	1.75

No entanto, se comparar com a alvenaria estrutural a construção convencional produz mais emissões de CO₂. A TABELA 21 e a FIGURA 28 ilustram este facto.

TABELA 21, Diferença das emissões de CO₂ (kg CO₂) para as duas opções estruturais

CO ₂ emitido	Construção Convencional	Alvenaria Estrutural	Diferença
VÃO 4 m	748.34	545.18	27.15%
VÃO 6 m	1,020.93	817.78	19.90%
VÃO 7 m	1,157.23	954.07	17.56%

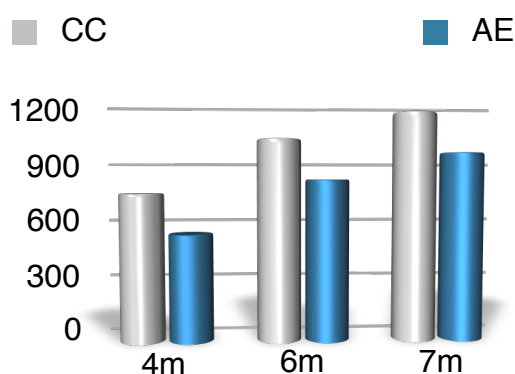


FIGURA 28, Emissões de CO₂ (kg CO₂ / Unidade Funcional)

Na quantificação da energia incorporada trata-se de uma situação semelhante à emissão de CO₂. O comportamento das unidades funcionais em alvenaria estrutural é igual, a energia incorporada cresce proporcionalmente com o aumento de vão. Na solução de construção convencional, a energia incorporada cresce de 4 para 6 e 7 m de vão em 33 e 49%, muito semelhante à quantificação de emissão de CO₂, (ver Tabela 22).

TABELA 22, Energia incorporada (MJ) nas Unidades Funcionais

Unidade Funcional (vão)	Construção Convencional		Alvenaria Estrutural	
	Energia	Factor	Energia	Factor
4 m	7,675	1.00	5,060	1.00
6 m	10,206	1.33	7,591	1.50
7 m	11,471	1.49	8,856	1.75

A variação da energia incorporada entre as duas soluções construtivas é semelhante à de emissão de CO₂ mas nota-se que as diferenças são maiores, (ver TABELA 23).

TABELA 23, Energia incorporada (MJ / Unidade Funcional)

Unidade Funcional (vão)	Construção Convencional	Alvenaria Estrutural	Diferença
4 m	7,675	5,060	34.07%
6 m	10,206	7,591	25.62%
7 m	11,471	8,856	22.80%

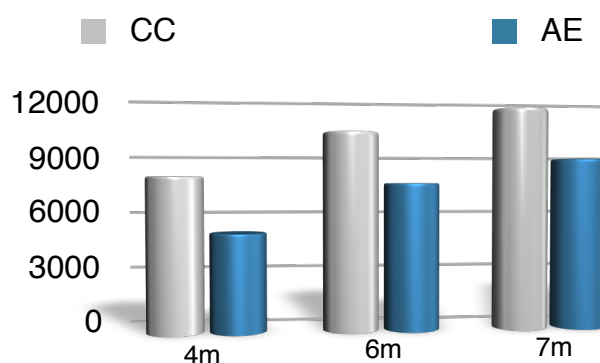


FIGURA 29, Comparação energia incorporada (MJ / Unidade Funcional)

TABELA 24, Comparação das diferenças entre as duas soluções construtivas para a emissão de CO₂ e a energia incorporada

Unidade Funcional (vão)	CO ₂		Energia Incorporada	
	Diferença (%)	Factor	Diferença (%)	Factor
4 m	27.15	1.00	34.07	1.00
6 m	19.90	0.73	25.62	0.75
7 m	17.56	0.65	22.80	0.67

Esta tabela pretende comparar as emissões de CO₂ e as energias incorporadas. A comparação das diferenças de emissão de CO₂ e energia incorporada entre as duas opções mostram que no primeiro caso variam entre 27% e 17% enquanto no segundo variam entre 34% e 22%. Verifica-se maior diferenças para energia incorporada em comparação com emissão de CO₂.

UNIDADE FUNCIONAL PAREDES INTERIORES

A tendência e o desenvolvimento dos valores para as paredes interiores é semelhante só que tem que ser considerado que o volume de material de alvenaria é menor, espessura 110 mm, mas os pilares com 30x30 cm tem a mesma dimensão das paredes exteriores.

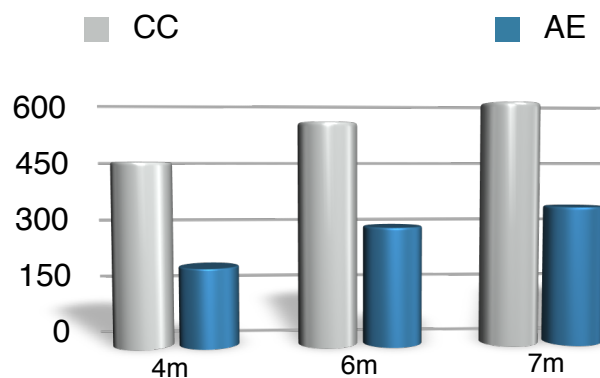
TABELA 25, Emissões de CO₂ (kg CO₂ / Unidades Funcionais)

Unidade Funcional (vão)	Construção Convencional		Alvenaria Estrutural	
	CO ₂	Factor	CO ₂	Factor
4 m	451.50	1.00	195.97	1.00
6 m	549.48	1.22	293.95	1.50
7 m	598.48	1.33	342.95	1.75

Pelo motivo mencionado a diferença e o rácio entre as duas soluções construtivas é muito maior conforme a TABELA 26.

TABELA 26, Emissões de CO₂ (kg CO₂ / Unidade Funcional)

CO ₂ emitido	Construção Convencional	Alvenaria Estrutural	Diferença
VÃO 4 m	451.50	195.97	56.60%
VÃO 6 m	549.48	293.95	46.50%
VÃO 7 m	598.48	342.95	42.70%

FIGURA 30, Comparação emissões de CO₂ (kg CO₂ / Unidade Funcional)

Na construção convencional as diferenças entre o vão de 4 m para os vãos de 6 ou 7 m são 19% ou 28%, mas como já foi observado, e entre as duas soluções as diferenças são maiores, como se verifica na TABELA 26 e na FIGURA 30.

TABELA 27, Energia incorporada (MJ / Unidade Funcional)

Unidade Funcional (vão)	Construção Convencional		Alvenaria Estrutural	
	Energia	Factor	Energia	Factor
4 m	4,967	1.00	1,874	1.00
6 m	5,903	1.19	2,810	1.50
7 m	6,372	1.28	3,279	1.75

TABELA 28, Energia incorporada (MJ / Unidade Funcional)

Unidade Funcional (vão)	Construção Convencional	Alvenaria Estrutural	Diferenças
VÃO 4 m	4,967	1,874	62.27%
VÃO 6 m	5,903	2,810	52.40%
VÃO 7 m	6,372	3,279	48.54%

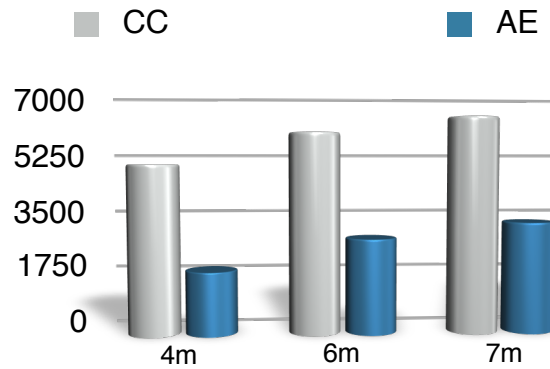


FIGURA 31, Comparação energia incorporada (MJ / Unidade Funcional)

TABELA 29, Comparação das diferenças entre as duas soluções construtivas para a emissão de CO₂ e a energia incorporada

Unidade Funcionais (vão)	CO ₂		Energia Incorporada	
	Diferença (%)	Factor	Diferença (%)	Factor
4 m	56.60	1.00	62.27	1.00
6 m	46.50	0.82	52.40	0.84
7 m	42.70	0.75	48.54	0.78

Na comparação das unidades funcionais entre a mesma solução construtiva e a outra solução a tendência e o comportamento mantém-se semelhante como para as paredes exteriores, seja a emissão de CO₂ ou a energia incorporada.

Conclui-se que as diferenças para a emissão de CO₂ e energia incorporada entre as unidades funcionais seja para as paredes exteriores ou interiores são semelhantes, com a excepção da presença mais dominante de betão armado nas paredes interiores que implica uma diferença maior em relação à solução de alvenaria estrutural.

4.2.2 Análise das Emissões de CO₂ no Edifício Modelo

Conforme as quantificações das unidades funcionais segue a quantificação e a comparação de emissões de CO₂ no fabrico dos materiais de construção usados no edifício modelo, um em alvenaria estrutural e outro em construção convencional. Convém quantificar a poluição pelo transporte para poder ter uma ideia global das

emissões de CO₂ no edifício tipo. Para a emissão de CO₂ no transporte dos materiais de construção deve considerar-se os seguintes factores:

O documento “CODE FOR SUSTAINABLE HOMES”¹ fornece os dados para a quantificação de emissão de CO₂ no transporte. A maioria deste tipo de transporte é realizado pelo transporte rodoviário a nível Nacional e Europeia. Os regulamentos nacionais que se aplicam em termos de tipos e medidas de camiões que podem transportar os materiais de construção estão baseados nos regulamentos da União Europeia. A guia “International Road Transporte Guide” do ano 2006 mostra as normas gerais e conforme estas directivas calcula-se o transporte com camiões articulados com mais de seis eixos com o limite de transporte de 37 toneladas em Portugal e de 36 toneladas máximas em Espanha.

O fabrico de betão pode ocorrer no estaleiro ou em betão pronto. No último caso a distância não pode ultrapassar 50 km para garantir um preço económico. Em princípio em Portugal encontra-se uma central de betão a uma distancia máxima razoável, menor que 50 km e uma vez que se trata duma obra de pequena/média dimensão justifica utilizar betão pronto.

Para o betão pronto utiliza-se normalmente as betoneiras moveis de 12 toneladas de capacidade, que são camiões inferiores a de 33 toneladas.

Pode concluir que neste caso utilizam-se camiões inferiores e superiores da 33 toneladas. Conforme o documento mencionado acima a emissão de CO₂ no transporte com camiões inferiores de 33 toneladas é de 0,747 e nos camiões superiores de 0,929 kgCO₂/ km. (ver ANEXOS E,F)

¹ Department for Communities and Local Government, UK, Code for Sustainable Homes, Technical Guide, Version 2, May 2009

TABELA 30, Comparação de emissões de CO₂ (kg CO₂) na produção e transporte dos elementos de construção

CO ₂ EMITIDO (kgCO ₂)	CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL		ALVENARIA ESTRUTURAL	
	PRODUÇÃO	TRANSPORTE	PRODUÇÃO	TRANSPORTE
V0	13,732	5,901	13,815	4,333
V1-6	15,708	incluído no V0	9,790	incluído no V0
L0	6,396	incluído no V0	5,054	incluído no V0
L1-6	48,471	incluído no V0	38,743	incluído no V0
PILARES	7,562	incluído no V0		
E1-6	2,100	incluído no V0	2,100	incluído no V0
PE1-6	24,842	910	29,422	1,040
PI1-6	6,721	260	7,713	390
AE 60 kg/m ²	9,444	incluído no AI	9,974	incluído no AI
AI 15 kg/m ²	1,565	111	1,648	111
Aço	91,774	1,344	67,415	1,345
Cimento	incluído n/itens	1,486	incluído n/itens	1,115
SOMA	228,315	10,014	185,673	8,334
TOTAL	238,329		194,008	

Nota: Os dados da TABELA 30 foram calculados de acordo com os dados apresentados no capítulo 4.1.

Simbologia:

V0	Viga de Fundação
L0	Laje de betão maciça de fundação
V1-6	Vigas de pisos 1 á 6
E1-6	Escada de betão armado
PE1-6	Parede exterior de alvenaria estrutural
PI1-6	Parede interior de alvenaria estrutural/não estrutural
AE	Argamassa para parede exterior, 60 kg/m ²
AI	Argamassa para parede interior, 15 kg/m ²

TABELA 31, Comparação de emissões de CO₂ (kg CO₂) e as percentagem de emissões por material

CO ₂ EMITIDO	CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL		ALVENARIA ESTRUTURAL	
	PRODUÇÃO	ENVOLVIMENTO em relação total	PRODUÇÃO	ENVOLVIMENTO em relação total
Betão	93,969	41.16%	69,502	37.43%
Blocos cerâmicos	31,563	13.82%	37,135	20.00%
Argamassa	11,009	4.82%	11,622	6.26%
Aço	91,774	40.20%	67,415	36.31%
Soma	228,315	100.00%	185,674	100.00%
Transporte	10,014	4.20%	8,334	4.30%
TOTAL	238,329		194,008	

TABELA 32, Resumo de comparação de emissões de CO₂ (kg CO₂)

CO ₂ emitido	Construção Convencional	Alvenaria Estrutural	Diferença
PRODUÇÃO	228,315	185,673	22.97%
TRANSPORTE	10,014	8,335	20.15%
TOTAL	238,329	194,008	22.85%

As tabelas 31 e 32 mostram que a solução construtiva em alvenaria cerâmica estrutural tem uma redução de 22,85% na emissão de dióxido carbono em comparação com a construção convencional. Na Tabela 33, a comparação destes dados por área de construção, resulta evidentemente num resultado semelhante uma vez que a área é igual para as duas soluções.

No caso de construção convencional verifica-se que o CO₂ emitido no transporte é de 4,3 % das emissões de CO₂ na produção e no caso de alvenaria estrutural 4,5 %. Salienta-se que as emissões do CO₂ no transporte, embora não tendo uma importância grande, não são desprezáveis.

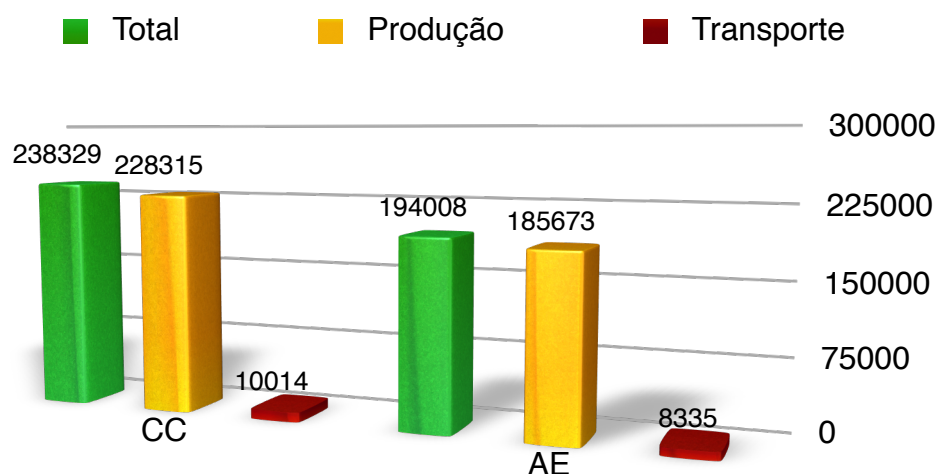


FIGURA 32, Comparação de emissões totais de CO₂ (kg CO₂) por edifício

TABELA 33, Comparação de emissões de CO₂ por m² da área de construção (kgCO₂/m²)

CO ₂ emitido	Construção Convencional	Alvenaria Estrutural	Diferença
CONSTRUÇÃO	238,329	194,008	18.60%
Área de construção	1,005.75	1,005.75	0.00%
CO ₂ / Área	236.97	192.90	18.60%

Na produção de 1 kg de betão verifica-se que liberta 0,10 kg CO₂ e mais 0.0855 kg CO₂, em média, para o aço. Considerando que na construção convencional há mais quantidades de materiais e no transporte há mais distâncias para percorrer devido ao facto de não haver siderurgia em Portugal e só há poucas fábricas de cimento, o resultado obtido não surpreende. Mas mesmo assim a questão neste fase é a análise de ciclo de vida e a durabilidade dos dois modelos para poder interpretar os dados correctamente e tirar um resultado conclusivo.

4.2.3 Análise da Energia Incorporada no Edifício Modelo

Na quantificação da energia incorporada calcula-se também a energia utilizada para o transporte do material de construção da fábrica para o estaleiro da obra. Na tabela 35 mostra-se as relações entre o consumo da energia na produção dos materiais de

construção e o transporte dos mesmos em relação à energia total incorporada no edifício modelo.

É de notar que a relação do consumo da energia no transporte em relação à produção do material, expresso em percentagem, seria igual nas duas soluções construtivas.

O transporte é realizado principalmente pela via rodoviária, por motivo de distâncias pequenas, e o consumo energético por camiões é 0,000402 MJ/(kg.km); um valor pequeno, para as distâncias comuns até 100 km, em comparação com os dados de energia incorporada, mas com suficiente importância para ter quantificações adequadas e justas relacionadas com os diferentes materiais.

TABELA 34, Comparação de energia incorporada (MJ)

ENERGIA INCORPORADA	CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL		ALVENARIA ESTRUTURAL	
	PRODUÇÃO	TRANSPORTE	PRODUÇÃO	TRANSPORTE
V0	111,231	18,889	111,905	13,970
V1-6	127,237	incluído no V0	79,297	incluído no V0
L0	51,807	incluído no V0	40,937	incluído no V0
L1-6	392,618	incluído no V0	313,821	incluído no V0
PILARES	61,252	incluído no V0		
E1-6	17,006	incluído no V0	17,006	incluído no V0
PE1-6	253,385	6,990	300,100	8,279
PI1-6	68,554	1,891	78,672	2,170
AE 60 kg/m ²	62,073	incluído no AI	65,554	incluído no AI
AI 15 kg/m ²	10,290	623	10,834	658
Aço	1,320,257	19,420	969,830	14,264
Cimento	incluído n/itens	10,577	incl. n/itens	7,823
SOMA	2,475,710	58,390	1,987,956	47,164
TOTAL	2,534,100		2,035,120	

Nota: dados de ANEXO E e F

Simbologia:

V0	Viga de Fundação
L0	Laje de betão maciça de fundação
V1 - 6	Vigas de pisos 1 á 6
E	Escada de betão armado
PE1 - 6	Parede exterior de alvenaria estrutural
PI1 - 6	Parede interior de alvenaria estrutural/não estrutural
AE	Argamassa para parede exterior, 60 kg/m ²
AI	Argamassa para parede interior, 15 kg/m ²

A Tabela 35 apresenta a energia incorporada para cada material de construção utilizado, bem como, a porcentagem que representa em relação a energia total.

TABELA 35, Comparação de energia incorporada (MJ), porcentagem do consumo de energia por material e por o consumo total da fabricação dos materiais

ENERGIA INCORPORADA	CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL		ALVENARIA ESTRUTURAL	
	PRODUÇÃO	ENVOLVIMENTO da energia total	PRODUÇÃO	ENVOLVIMENTO da energia total
Betão	761,151	30.74%	562,966	28.32%
Blocos cerâmicos	321,939	13.00%	378,772	19.05%
Argamassa	72,363	2.92%	76,388	3.84%
Aço	1,320,257	53.33%	969,830	48.79%
Soma	2,475,710	100.00%	1,987,956	100.00%
Transporte	58,390	2.30%	47,164	2.32%
TOTAL	2,534,100		2,035,120	

A Tabela 36 apresenta os valores totais da energia incorporada para cada uma das opções estudadas bem como a diferença em porcentagem. Verifica-se que em termos da energia incorporada a alvenaria estrutural consome menos 19,7% que a Construção Convencional.

TABELA 36, Resumo de comparação de energia incorporada (MJ)

Energia incorporada	Construção Convencional	Alvenaria Estrutural	Diferença
PRODUÇÃO	2,475,710	1,987,956	24.54%
TRANSPORTE	58,390	47,164	23.80%
TOTAL	2,534,100	2,035,120	24.52%

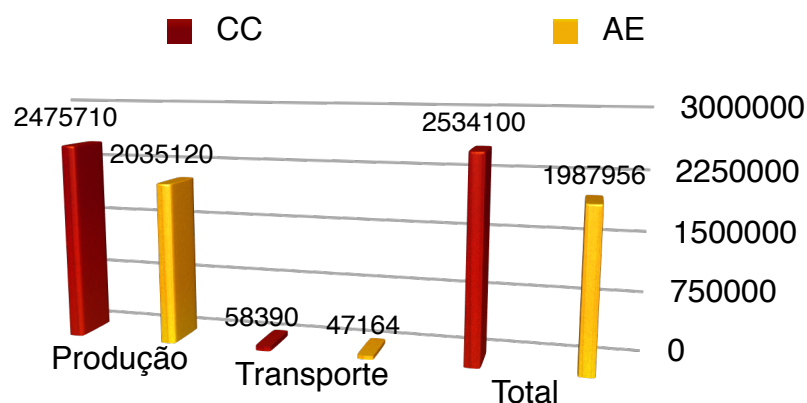


FIGURA 33, Comparação de energia incorporada (MJ) por edifício

TABELA 37, Comparação de energia incorporada por m² da área de construção (MJ/m²)

Energia incorporada	Construção Convencional	Alvenaria Estrutural	Diferença
PRODUÇÃO	2,475,710.00	1,987,956.00	19.70%
Área de construção	1,005.75	1,005.75	0.00%
Energia / Área	2,461.56	1,976.59	19.70%

A energia utilizada pelo transporte dos materiais tem uma importância de 2,3% comparado com a energia utilizada para a produção dos materiais. O consumidor principal da energia é a fábrica do aço, quase metade da energia consumida no edifício modelo, em qualquer das soluções construtivas. Em segundo lugar é o betão, a seguir os blocos cerâmicos e por último as argamassas.

4.2.4 Análise Orçamental do Edifício Modelo

O custo do edifício modelo está contabilizado conforme as unidades funcionais, referindo a estrutura. As fundações, vigas e lintéis, não estão consideradas, uma vez que a fundação é igual para ambos os modelos - construção convencional ou alvenaria estrutural. Da mesma forma as janelas e portas são iguais para qualquer modelo e não são contabilizadas.

O edifício modelo tem uma área de implantação de 167,62 m². A área total de construção com 6 pisos é 1005,75 m². Para cada piso pode-se considerar uma ou duas habitações que servem 5 habitantes por piso, assim o edifício serve 30 habitantes. De outra forma, em vez de habitação, pode considerar-se o edifício para fins administrativos, como empresas de serviço ou consultórios médicos; neste caso convém dividir o edifício em unidades (fracções), por exemplo duas unidades por piso no total 12 unidades. Considera-se também que a estrutura do modelo ideal em construção convencional tem uma durabilidade de 100 anos, igual ao de construção em alvenaria estrutural.

TABELA 38, Comparação dos custos por unidades funcionais (euro)

Unidades Funcionais	EXTERIOR			INTERIOR		
	CC	AE	Redução	CC	AE	Redução
4 m	458.87	335.12	26.97%	267.66	128.41	52.02%
6 m	626.43	502.69	19.75%	331.86	192.62	41.96%
7 m	710.21	586.47	17.42%	363.97	224.72	38.26%

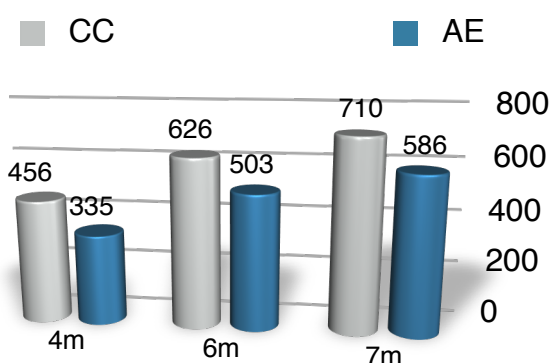


FIGURA 34, Comparação dos custos das paredes exteriores (euro)

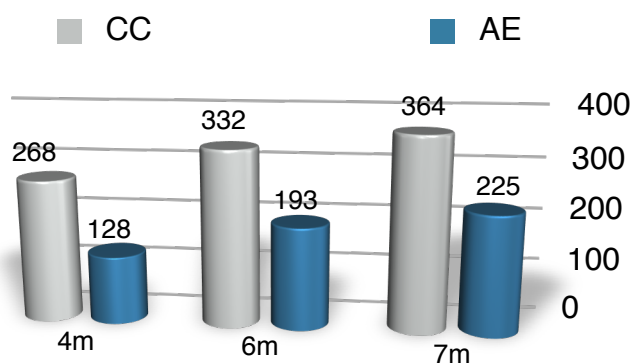


FIGURA 35, Comparação dos custos das paredes interiores (euro)

A Tabela 38 e as Figuras 33 e 34 mostram que a solução construtiva em alvenaria estrutural fica mais económica para todos os vãos estudados. Aparentemente a diferença é devida ao custo de betão armado. Nota-se que com o aumento do vão a diferença diminuía conforme o rácio seguinte:

$$RÁCIO = \text{Quantidade de Betão Armado} / \text{Quantidade de Alvenaria}$$

Em todas as unidades funcionais a quantidade de betão armado é constante, trata-se dos pilares laterais e a secção das vigas, enquanto que com o aumento do vão a quantidade de alvenaria muda muito. Mesmo considerando que com o aumento do vão a dimensão do pilar aumenta, mas mesmo assim a diferença em relação ao crescimento da alvenaria não é significativo. Por exemplo o vão de 4 m, pé-direito de 2,7 m, com pilares de 30 cm de largura tem 9,18 m² de alvenaria e 1,62 m² de betão armado. Ao contrário um vão de 7 m, para o mesmo pé-direito, com pilares de 40 cm de largura tem 16,74 m² de alvenaria e 2,16 m² de betão armado, significa que a alvenaria do vão de 4 m para o vão de 7 m tem um aumento de 82,35%, mas o betão armado só tem um aumento de 33,33%. Portanto o crescimento da alvenaria e do betão armado no aumento de vão não é proporcional e com o aumento de vão, o betão armado reduz o seu impacto. A Tabela 39 mostra este facto.

TABELA 39, Quantidade de alvenaria e betão armado para as unidades funcionais na solução construção convencional

Unidades Funcionais	Alvenaria (m ²)	Pilar largura (m)	Pilar secção (m ²)	Rácio
Vão 4 m	9.18	0.30	1.62	0.176
Vão 6 m	14.31	0.35	1.89	0.132
Vão 7 m	16.74	0.40	2.16	0.129

Como já se previa o rácio reduz-se com o aumento de vão o que implica uma redução de impacto de betão armado. Neste estudo limita-se este tipo de comparação até ao vão de 7 m, uma vez que vãos maiores criam outro tipo de problemas estruturais que estão fora de âmbito do estudo. Esta relação entre a quantidade de betão armado e a alvenaria deve ter seu impacto nas quantificações de sustentabilidade. Na construção convencional os vãos maiores são relativamente mais sustentáveis do que os vãos pequenos. O rácio entre os vãos de 6 e 7 m são próximos, e o vão de 4 m destaca-se significativamente, portanto é possível separar os vãos até 4 m e os vãos superiores para dar uma classificação neste contexto.

TABELA 40, Comparação das massas dos materiais de construção de edifício modelo

QUANTIDADE (kg)	CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	ALVENARIA ESTRUTURAL	REDUÇÃO
Tijolo, parede exterior	248,417	294,216	-45,799
Tijolo, parede interior	67,210	77,129	-9,919
Betão	939,693	695,020	244,673
Aço	53,675	39,424	14,251
Argamassa	51,687	54,563	-2,876
TOTAL	1,360,682	1,160,352	200,330

A comparação das massas dos materiais da construção na tabela acima revela a dominação do betão e aço em comparação com as massas dos outros materiais de construção nas duas soluções construtivas do edifício modelo, embora a alvenaria estrutural leve mais blocos cerâmicos e argamassas.

TABELA 41, Comparação dos custos dos materiais de construção

Material	Construção Convencional (kg)	Preço unitário (€/kg)	Custo (€)	Alvenaria Estrutural (kg)	Preço unitário (€/kg)	Custo (€)
Tijolo (exterior)	248,417	0.05	12,595	294,216	0.05	14,917
Tijolo (interior)	67,210	0.14	9,147	77,129	0.14	10,497
Betão	939,693	0.03	23,684	695,020	0.03	17,517
Aço, armadura	53,675	0.80	42,940	39,424	0.80	31,539
Arga-massa	51,687	0.17	8,787	54,563	0.17	9,276
Total	1,360,682		97,153	1,160,352		83,746

Simplemente a estrutura reticulada em betão armado na construção convencional é mais pesada devida aos pilares e as vigas.

Conforme a esta observação, verifica-se também na Tabela 41 que os custos dos materiais de construção ficam mais económicos para a alvenaria estrutural.

TABELA 42, Comparação de custos de construção de edifício modelo

ORÇAMENTO (Euro)	CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	ALVENARIA ESTRUTURAL	REDUÇÃO	Diferença
V0 + CO	10,258.46	10,666.07	-407.61	-3.82%
V1 - 6	28,303.29	17,639.27	10,664.02	60.46%
L0	8,823.99	8,823.99	0.00	0.00%
L1 - 6	64,024.76	63,973.00	51.76	0.08%
PILARES	9,875.49	0.00	9,875.49	
E1 - 6	5,374.26	5,374.26	0.00	0.00%
PE1 - 6	22,929.93	24,215.81	-1,285.88	-5.31%
PI1 - 6	5,825.86	6,134.05	-308.19	-5.02%
TOTAL	155,416.04	136,826.45	18,589.59	13.59%

Nota: dados de capítulo 4.1

Simbologia:

V0	Viga de Fundação
CO	Cofragem
L0	Laje de betão maciça de fundação
V1 - 6	Vigas de pisos 1 à 6
E	Escada de betão armado
PE1 - 6	Parede exterior de alvenaria estrutural
PI1 - 6	Parede interior de alvenaria estrutural/não estrutural

Em relação ao custo de obra devem ser considerados separadamente os custos de material e aplicação de isolamentos térmicos. Pelo o Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), a aplicação de isolamentos térmicos é inevitável.

O betão armado com inferior resistência térmica necessita um isolamento térmico mais forte do que os blocos cerâmicos. Para poder comparar a quantidade equilibrada de isolamento térmico para os dois modelos elabora-se um modelo de cálculo simplificado para poder garantir para os dois modelos o dimensionamento mínimo com o efeito idêntico. Neste sentido o valor médio de coeficiente de transferência térmica deve ser igual para os dois modelos. Esta igualdade só pode ser atingida pelo método iterativo de dimensionamento. O dimensionamento neste caso pode limitar-se a um piso, uma vez que entre os pisos não há envolventes diferentes com o exterior. (ver Anexo D)

O resultado desta avaliação mostra que para os dois modelos se utiliza o mesmo isolamento de poliestireno extrudido de 30 mm de espessura. No caso de construção convencional o valor de coeficiente de transferência de calor é de $0,034 \text{ W/m}^2\text{K}$ mais reduzido do que para a alvenaria estrutural com $0,422 \text{ W/m}^2\text{K}$. Desde modo aplica-se o mesmo isolamento térmico nas duas opções construtivas.

Com a elaboração do orçamento segue-se a determinação da duração de obra e a quantidade de recursos humanos envolvidos. Para uma melhor demonstração destes dados as tabelas seguintes mostram os valores para o modelo ideal completo e depois por piso.

Para o cálculo das durações das actividades são utilizados os indicadores de rendimentos das tabelas de “Rendimentos de Mão-de-Obra, Materiais e Equipamentos de Construção Civil” de Laboratório Nacional de Engenharia Civil e da autoria de José da Paz Branco.

Com o planeamento da construção do modelo pretende-se definir a duração da obra e os recursos humanos envolvidos. Para a apresentação de planeamento escolhe-se o gráfico de GANTT, que é mais adequado, neste caso, para mostrar de uma forma simples e transparente as actividades, as suas durações e as suas interdependências. Em termos estruturais a construção de cada piso é dependente do piso anterior, para poder iniciar a construção de um piso deve estar acabada a construção da estrutura do piso anterior. Neste sentido é relevante planear a construção por piso e visualizar melhor as durações e os recursos humanos necessários para as actividades.

No primeiro piso considera-se que o piso é composto pela laje de fundação, as paredes, a escada e o tecto. Os pisos seguintes, são todos iguais em termos de actividades, compostos pelas paredes, escada e tecto. Por este motivo o planeamento limita-se até ao terceiro piso e evita a repetição dos pisos superiores. Como já mencionado anteriormente as janelas e portas, iguais para qualquer modelo, não são analisadas, porque não vão causar diferenças nas durações ou recursos humanos das actividades entre as duas soluções construtivas.

O gráfico de GANTT (Anexo E, Figura 57) mostra que a construção de primeiro piso incluindo o tecto é planeado para 49 dias considerando que a execução da parede exterior é no dia 35 depois de 28 dias de betonagem das vigas, onde vai assentar a parede exterior. Os tempos de cura de betão devem ser considerados para o betão ganhar presa e atingir uma resistência razoável estabelecidos pelas Normas Portugueses de betão. Segundo o Artº 153 do REBAP, Regulamento de Edifícios em

Betão Armado e Pontes, nos casos correntes, em condições normais de temperatura e humidade e para betões com coeficientes de endurecimento correntes, os prazos mínimos para a retirada dos moldes e dos escoramentos, contados a partir da data de conclusão da betonagem são para vãos superiores de 6 m e moldes de faces, inferiores a 14 dias. E no caso de escoramentos, que é o caso habitual de construção, este prazo deve ser aumentado para 28 dias no caso de lajes e vigas que, na ocasião do descimbramento, fiquem sujeitas a acções de valor próximo do que, satisfeita a segurança corresponde à sua capacidade resistente, que é também o caso deste estudo, uma vez que por razões económicas e igualdade entre as duas soluções construtivas adopta-se o dimensionamento mínimo.

Para a actividade de assentamento da parede exterior são considerados uma equipa. Assim a duração deste actividade é de 20 dias. Utilizando duas equipas com um custo pequeno adicional, podia reduzir a duração para metade. Este custo pode ser compensado pelos ganhos no custo diário da obra, dos recursos humanos, equipamentos e de estaleiro.

O assentamento da parede interior leva menos tempo utilizando também duas equipas em paralelo, assim, o assentamento, de todas as paredes pode terminar no dia 45.

A preparação de cofragem do tecto depende da conclusão da execução das paredes exteriores e interiores e também da cura do betão da laje, que deve ter condições para suportar as paredes e os prumos de cofragem do tecto, que suportam pelo menos durante o período de cura a laje do tecto betonado. Esta actividade pode iniciar-se no dia 45, 10 dias depois da conclusão da cura do betão da laje do chão. A betonagem do tecto inicia-se no dia 48 e finaliza-se no dia 49.

As durações em vermelho mostram as actividades críticas do processo de execução. O gráfico de GANTT (Anexo E, Figura 58) junta as actividades da mesma categoria, nomeadamente colocação de cofragem, armadura, betonagem e alvenaria, para mostrar as necessidades de recursos humanos. A seguir pode-se verificar a soma dos recursos humanos que é necessária para executar a construção de piso¹. Da mesma forma são apresentados os gráficos para os pisos 2 e 3. Uma vez que nos pisos 2 e 3 a sequência das actividades é mais linear evita-se o gráfico dos recursos e só se apresenta a soma dos recursos.

O gráfico de GANTT (Anexo E, Figura 60) para o planeamento da execução de terceiro piso mostra que não há alterações nas actividades nos pisos superiores, nem nas

durações. De facto em termos de construção a única diferença que existe é a quantidade de armadura, que vai reduzir ligeiramente por piso, mas uma vez que a actividade de colocação da armadura não é uma actividade crítica e demora sempre menos do que a actividade de cofragem. Isto significa que os 3 dias de folga no mínimo nunca podem ser a causa da alteração da duração da obra nem desfavorável nem favoravelmente.

Nos pisos superiores as actividades para a construção são iguais ao segundo piso. Sendo assim pode-se concluir, que para os pisos seguintes a quantidade de recursos humanos continua a ser a mesma, por isso com 16 trabalhadores para todos os pisos pode-se finalizar a construção de modelo ideal em alvenaria estrutural. As tabelas 43 e 44 mostram os custos de mão-de-obra para os pisos 1 e 2.

TABELA 43, Orçamento de mão-de-obra de fundação e piso 1

Descrição	Duração (dias)	Custo mão-de-obra (euro/h)	Custo (euro)
Fundação + Piso 1			
Cofragem	9	7.21	519.12
Armadura	14	8.00	896.00
Betonagem	6	7.32	351.36
Assentamento parede exterior	20	7.23	1,156.80
Assentamento parede interior	13	7.19	747.76
SOMA	62		3,671.04

TABELA 44, Orçamento de mão-de-obra de piso 2

Descrição	Duração (dias)	Custo médio de mão-de-obra (euro/h)	Custo (euro)
Piso 2			
Cofragem	6	7.21	346.08
Armadura	6	8.00	384.00
Betonagem	3	7.32	175.68
Assentamento parede exterior	24	7.23	1,388.16
Assentamento parede interior	16	7.19	920.32
SOMA	55		3,214.24

No caso de construção convencional do modelo ideal tem-se em consideração que as vigas e a laje em betão armado do tecto do piso inferior necessitam o tempo de cura de betão, 28 dias, depois de betonagem para poder ser carregados com a carga dos pilares e paredes. Este facto implica um tempo de espera que se repete na construção de cada piso.

As outras actividades são iguais em todos os pisos superiores ao piso 1 e a actividade de colocação das armaduras, que vai ligeiramente reduzir por piso por causa da diminuição de armadura, não é uma actividade crítica e não tem nenhuma influência sobre a duração total de construção de cada piso. Pode-se contar que em todos os pisos superiores a duração de obra é de 58 dias. Conclui-se que a obra toda de construção de estrutura do edifício modelo em construção convencional dura 358 dias. (As respectivas tabelas estão conforme os exemplos de modelo em alvenaria estrutural que se encontra no Anexo F).

Do mesmo modo pode-se concluir, que para os pisos seguintes a quantidade de recursos humanos continua com 12 trabalhadores, idêntica ao piso 2, e que é suficiente para concluir a obra com uma duração determinada de 358 dias.

Deste modo parece oportuno comparar os custos de mão-de-obra de construção convencional e de alvenaria estrutural por piso, uma vez que no caso de construção convencional os pilares de betão exigem mais um tempo de espera de cura do betão. Este tempo de espera não existe no caso de alvenaria estrutural, em consequência a duração de construção em alvenaria estrutural é mais curta do que a construção convencional. As tabelas 44 a 46, mostram que com a construção em alvenaria estrutural pode reduzir as durações da obra e os custos de mão-de-obra. Ainda pode utilizar duas equipas de pedreiro com servente, contribuindo também para o mercado de trabalho.

TABELA 45, Comparação de custos de mão-de-obra por piso e actividade, fundação + piso 1 (euro)

Descrição	Construção Convencional		Alvenaria Estrutural		Diferença	
	Custo	D	Custo	D	Custo	D
Fundação + Piso 1						
Cofragem	692.16	12	519.12	9	25.00%	25.00%
Armadura	1,088.00	17	896.00	14	17.65%	17.65%
Betonagem	409.92	7	351.36	6	14.29%	14.29%
Assentamento parede exterior	1,156.80	20	1,156.80	20	0.00%	0.00%
Assentamento parede interior	690.24	12	747.76	13	-8.33%	-8.33%
SOMA	4,037.12	68	3,671.04	62	9.07%	8.82%

TABELA 46, Comparação de custos de mão-de-obra por piso e actividade, piso 2 (euro)

Descrição	Construção Convencional		Alvenaria Estrutural		Rácio	
	Custo	D	Custo	D	Custo	D
Piso 2						
Cofragem	461.44	8	346.08	6	25.00%	25.00%
Armadura	512.00	8	384.00	6	25.00%	25.00%
Betonagem	234.24	4	175.68	3	25.00%	25.00%
Assentamento parede exterior	1,388.16	24	1,388.16	24	0.00%	0.00%
Assentamento parede interior	862.80	15	920.32	16	-6.67%	-6.67%
SOMA	3,458.64	59	3,214.24	55	7.07%	6.78%

TABELA 47, Comparação de duração de obra e recursos humanos para edifício modelo

Duração de Obra (DO) Recursos Humanos (RH)	CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL		ALVENARIA ESTRUTURAL		DIFERENÇA	
	DO	RH	DO	RH	DO	RH
Fundação + Piso 1	68	12	49	16	19	-4
Piso 2	58	12	35	16	23	-4
Piso 3 - 6	232	12	140	16	92	-4
TOTAL	358	12	224	16	134	-4

TABELA. 48, Comparação dos parâmetros de edifício modelo

PARÂMETROS	CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	ALVENARIA ESTRUTURAL	REDUÇÃO
ÁREA DE CONSTRUÇÃO	1,005.75	1,005.75	
CO ₂ EMITIDO	238,329	194,008	
CO₂ EMITIDO / ÁREA	236.97	192.90	18.60%
ENERGIA INCORPORADA	2,534,100	2,035,100	
ENERGIA / ÁREA	2,519.61	2,023.47	19.69%
CUSTO	155,416.04	136,826.45	
CUSTO / ÁREA	154.53	136.04	11.96%

A Tabela 48 resume as quantificações de sustentabilidade por área de construção, em que os valores económicos e ambientais favorecem a solução em alvenaria estrutural. O edifício modelo em alvenaria estrutural tem nos custos da estrutura uma melhoria de 12%, na emissão de CO₂ e nos gastos energéticos uma melhoria de 18,60% e 19,70% respectivamente.

TABELA 49, Comparação dos parâmetros de edifício modelo

PARÂMETROS	UNIDADE	CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	ALVENARIA ESTRUTURAL
ÁREA DE CONSTRUÇÃO	m ²	1,005.75	1,005.75
DURABILIDADE	ano	100	100
CO ₂ EMITIDO	kgCO ₂	238,329	194,008
ENERGIA INCORPORADA	MJ	2,534,100	2,035,100
CUSTO	Euro	155,416.04	136,826.45
RECURSOS HUMANOS	Homem	12	16
DURAÇÃO DA OBRA	dias	358	224

Nestas comparações verifica-se que as diferenças entre os valores de construção convencional e de alvenaria estrutural é uma questão de quantidade de alvenaria e de betão armado utilizado num projecto ou seja se a percentagem de alvenaria cresce o projecto pode beneficiar mais da utilização de alvenaria em termos ambientais e económicos. Recorda-se que a diferença entre os dois modelos são os pilares em betão armado. Sendo assim, um edifício com arquitectura horizontal pode alterar esta percentagem referida, que é objecto de estudo no próximo capítulo.

Deve ainda ser mencionado que nesta investigação para salientar melhor as diferenças da sustentabilidade nas duas soluções construtivas o tecto foi considerado do mesmo material, betão armado maciço. A outra opção existente é substituir nas duas soluções, a mencionada laje de tecto com abobadilhas cerâmicas que são suportadas pelas vigotas de betão pré-fabricado apoiadas nas paredes estruturais.

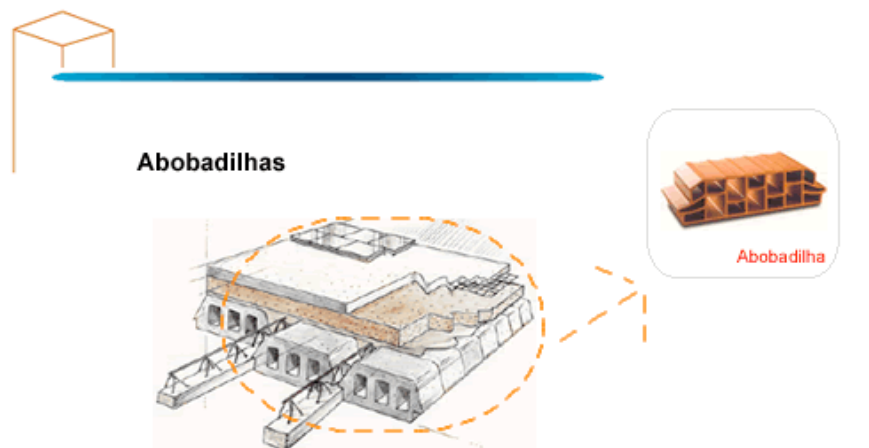


FIGURA 36, Abobadilha da fabrica Preceram, (imagem com cortesia de fabrica)

Com os tectos em abobadilhas cerâmicas pode-se melhorar os dados de sustentabilidade e também beneficiar de um melhor conforto ambiental. As abobadilhas são isolantes térmicas e acústicas, protegem o ambiente do habitat e reduzem os ruídos de precursão.

4.3 Análise Económica

Para completar a comparação e a análise dos benefícios de cada um destes géneros de construção, é pertinente comparar as respectivas contribuições para a economia e o crescimento do País. E é nesse contexto que se seguirá uma análise comparativa da estrutura convencional e da alvenaria estrutural numa vertente macro-económica, ou seja, avaliar o seu impacto em alguns dos principais indicadores económicos do País.

Será de interesse iniciar a análise com um indicador geral da riqueza e do bem-estar do país, como o Produto Interno Bruto (PIB), que estima a produção total de um país, ou seja, todos os bens e serviços produzidos no país num determinado ano.¹ O PIB pode ser calculado segundo a óptica da despesa, do rendimento ou da oferta. Enquanto a óptica da despesa soma todas as despesas em bens e serviços finais efectuados pelos diferentes agentes económicos, a óptica do rendimento soma os

¹ Contabilizam-se apenas os bens finais e não intermédios, para evitar o problema da dupla contagem.

rendimentos dos factores produtivos distribuídos pelas empresas. Neste caso, quer-se contabilizar o contributo do sector da construção para o PIB nacional, sendo o percurso mais natural a óptica da oferta que soma, por sua vez, todos os valores gerados pelas empresas que operam no país. Por valor gerado entende-se Valor Acrescentado Bruto (VAB) que diz respeito à diferença entre o valor da produção e os consumos intermédios de cada empresa/sector.

Antes de se iniciar o cálculo dos VABs, consideram-se dois cenários distintos. Sendo que o primeiro corresponde à situação actual, na qual, toda a construção será convencional e no segundo cenário cinquenta por cento da construção terá uma alvenaria estrutural.

O próximo passo será estimar o número de casas que serão construídas no próximo ano. Considerando o panorama da última década, no qual o número de casas tem decrescido, pode-se calcular uma taxa de crescimento média (-5,73%) para assim calcular uma previsão do número de casas a construir no próximo ano, que será vinte e quatro mil seiscentos e quarenta e nove casas (24.649), (ver Tabela 50).

TABELA 50, Edifícios concluídos para Habitação Familiar,
2001 - 2009

Ano	Unidade	Variação em relação do ano anterior
2001	43,248	
2002	46,528	7.58%
2003	40,643	-12.65%
2004	32,659	-19.64%
2005	33,894	3.78%
2006	29,958	-11.61%
2007	28,404	-5.19%
2008	27,624	-2.75%
2009	26,147	-5.35%
Médio	34,345	-5.73%

Nota: dados de documento de “Estatística de Construção de Habitação 2009”¹

¹ Instituto Nacional de Estatística

Pode-se comparar o cenário actual no qual esse número de casas será construído com uma estrutura convencional e considerar um cenário no qual cinquenta por cento dessa construção terá uma alvenaria estrutural. Neste cenário obter-se as seguintes variações no produto.

Prosseguindo para o cálculo dos VABs, é necessário esclarecer os pressupostos considerados. O valor da produção, que é necessário para esta análise, corresponde ao preço das casas que depende de um conjunto de factores independentes da sua construção, como por exemplo, a localização das casas, a intensidade da procura num dado ano ou mesmo a conjuntura económica corrente do país. Dito isto, assume-se que todos os factores exógenos são os mesmos para ambos os modos de construção, e como tal os preços serão os mostrados na Tabela 48. Considerando a identidade macro-económica:

$$\text{VAB} = \text{Valor da Produção} - \text{Consumos Intermédios},$$

$$\text{Valor de Produção} = \text{Custo de habitação} \times \text{Quantidade de habitações a construir}$$

$$\text{(Exemplo: } 154,53\text{€/m}^2 \text{ (Tabela 48)} \times 100 \text{ m}^2 \text{ (área média de casa combinado)} \times 24649 \text{ (estimativa do número de casas para o próximo ano))}$$

$$\text{Consumos Intermédios} = \text{Consumo de material de construção por habitação} \times \text{Quantidade de habitações a construir}$$

$$\text{(Exemplo: } 97153\text{€ (Tabela 41)} \times 100 \text{ m}^2 / 1005,75 \text{ m}^2 \text{ (área média de casa combinado)} \times 24649 \text{ (estimativa do número de casas para o próximo ano))}$$

e usando os preços constantes de 2010, obtém-se a TABELA 51. São usados preços constantes para obter valores reais e não nominais, já que se procura comparar acréscimos no PIB devido a uma maior produção e não devido à inflação.

TABELA 51, Estimativa do PIB

	Construção Convencional	50% Alvenaria Estrutural 50% Construção Convencional
Valor da Produção	€380,900,997	€358,112,997
Consumos Intermédios	€238,103,336	€221,674,345
Total VAB	€142,797,661	€136,438,651

Pode-se verificar então que a construção convencional tem um VAB superior e portanto contribui mais para o PIB. Contudo, é importante realçar, que a alvenaria

estrutural importa menos aço e energia, o que implica um maior valor acrescentado nos respectivos sectores. O que representa para este sector um consumo intermédio, representa para outro sector um valor acrescentado, e é por essa mesma razão que se retira os consumos intermédios para evitar um problema de dupla contagem. Portanto a construção menos dependente do exterior, representará um maior valor acrescentado noutros sectores nacionais, enquanto que uma construção que requer uma maior importação contribui para o crescimento de países terceiros.

Para se quantificar o impacto da dependência do exterior, considera-se a balança comercial que corresponde à diferença entre o valor das exportações e importações.

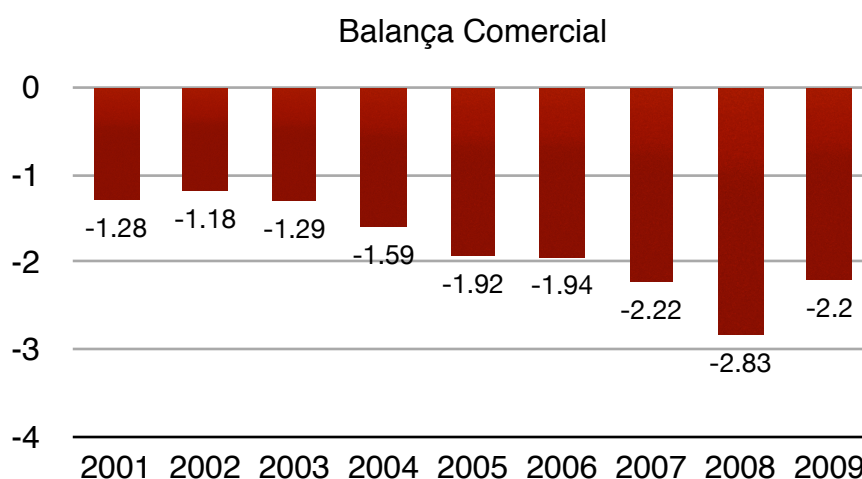


FIGURA 37, Exportações Líquidas de Portugal na primeira década de século 21,
Fonte OECD, Organization for Economic Co-operation and Development¹

Portugal depara-se com um défice persistente que é evidência da dependência do exterior e revela a fragilidade do aparelho produtivo interno. O crescimento do défice comercial implica também o aumento da posição devedora líquida da economia portuguesa. E dado que em 2010 os juros da dívida pública portuguesa registaram novos máximos desde a adesão ao Euro, será de interesse reduzir o défice comercial para assim permitir também uma redução do endividamento externo. Conseguir um maior grau de autonomia é benéfico não apenas no sentido de fluir menos dinheiro para fora, mas também no sentido de se depender menos das flutuações de preços estrangeiros e das suas restrições e tributações. Portanto um nível mais baixo de

¹ http://www.oecd.org/home/0,3305,en_2649_201185_1_1_1_1_1,00.html, consulta em 25 de Outubro de 2010

importações não contribui apenas para um produto nacional superior mas também para uma dependência menor do exterior.

As importações incluem o aço e a energia importada a preços constantes de 2010. Para o cálculo da energia importada foram apenas contabilizados oitenta e cinco por cento da energia utilizada na construção, o que corresponde à dependência energética portuguesa - oitenta e cinco por cento da energia consumida em Portugal é importada.

Importações no cenário 1 (construção convencional): 112 889 827 €

Importações no cenário 2 (50% construção convencional e 50% alvenaria estrutural): 100 132 924 €

Cálculos auxiliares: Importações = [quantidade de aço importada (tabela 41) * preço + 0,85* (quantidade de energia utilizada * preço)] * estimativa do número de casas para o próximo ano

É de notar o seguinte:

1. Conforme o Guia Prático de Eficiência Energética de EDP de 2005, 85% de energia eléctrica é importada¹. Pelo Bloomberg, Notícias de Economia, e OMEL, Mercado de Electricidade em Espanha, o preço médio de electricidade no dia 25 de Outubro de 2010 é 44,33 €/MWh.²
2. O aço é importado e o preço médio pelo London Metal Exchange no dia 25 de Outubro de 2010 é 0,364475 €/kg.³

Dado que a alvenaria estrutural requer uma quantia inferior de aço e energia, o valor das importações será inferior numa economia cuja construção se baseia parcialmente nesta estrutura ao invés de apostar unicamente numa estrutura convencional. Para os cálculos foram apenas contabilizados oitenta e cinco por cento da energia utilizada na construção dado que isso corresponde à proporção da energia consumida em Portugal que é importada.

Concluindo, no cenário em que metade das casas construídas usam uma alvenaria estrutural, diminuir-se-ia o défice comercial em mais de doze milhões e setecentos mil

¹ Pagina de ERSE, Entidade Regulador das Serviços Energéticos <http://www.erse.pt/pt/electricidade/factosenumeros/Paginas/ConsElectsectordeactividade.aspx>, no dia 21 de Outubro de 2010.

² Bloomberg: <http://www.bloomberg.com/energy>; OMEL: http://www.omel.es/frames/en/resultados/resultados_index.htm

³ London Metal Exchange: http://www.lme.com/steel/latest_price.asp

euros.¹ Outra vertente que se pode considerar é a criação de emprego já que estas duas estruturas diferem também nas quantidades de mão-de-obra empregues.

O Diário de Notícias, DN, relatou que “Portugal deverá encerrar a década com um crescimento médio anual do número de empregados próximo de zero (0,2%). A avaliar pelos dados da Comissão Europeia - que prevê um recuo no número de postos de trabalho de 2,3% em 2009 -, este será o desempenho mais fraco de todos os países da Zona Euro.”² Dado este fraco desempenho de Portugal na criação de emprego é importante avaliar qual de ambas contribuirá mais para este factor.

Neste estudo elaborou-se que 100 m² de habitação necessitam de 10 trabalhadores e 68 dias para construir uma estrutura convencional e 14 trabalhadores e 49 dias para a mesma habitação em alvenaria estrutural (Tabela 47 reduzindo em 2 trabalhadores para cada solução construtiva). Portanto pode se calcular o número de horas de trabalho que cada estrutura requer, multiplicando o número de dias pelo número de horas e trabalhadores:

Construção convencional:	5440 Hxh/100 m ²	(CCh)
Alvenaria estrutural:	5488 Hxh/100 m ²	(AEh)

O Emprego é um indicador fulcral devido à sua influência directa no bem estar da população. Pode-se verificar que a alvenaria estrutural requer mais horas de mão-de-obra, contribuindo mais para a criação de emprego.

O passo seguinte é traduzir este diferencial de horas de emprego num resultado aproximado da quantidade de emprego criada num ano, recorrendo aos dois cenários habituais:

Horas de Trabalho / ano

CC: 134 090 560 h AE: 134 682 136 h

Postos de Trabalho

CC: 64 220 trabalhadores AE: 64 503 trabalhadores

onde CC: construção convencional; AE: alvenaria estrutural

Cálculos auxiliares:

Postos de trabalho = horas de trabalho num ano / (horas por dia * dias úteis num ano)

Horas de Trabalho / ano = CCh ou AEh x estimativa do número de casas para o próximo ano

¹ A diferença entre o valor das importações nos dois cenários é de 12.756.903€

² DN bolsa, 08 de Janeiro 2010

No próximo ano, se metade da construção tiver uma alvenaria estrutural, dispor-se-á de mais duzentos e oitenta e três lugares de trabalho do que no caso em que toda a construção é feita com uma estrutura convencional.

É também relevante considerar a perspectiva do produtor que pretende ser mais competitivo no mercado. Isto não deixa de ser relevante para o país como um todo, pois no contexto de um mundo cada vez mais globalizado o termo competitividade ganha novo significado, e empresas mais competitivas traduzem-se num país mais competitivo. Um indicador predilecto para avaliar a competitividade é o Custo de Trabalho por Unidade Produzida (CTUP), calculado como o quociente entre o salário médio por trabalhador e o produto médio por trabalhador. Portanto este indicador pode ser interpretado como o custo de produzir uma unidade de produto. Valores superiores significam um crescimento crescente dos salários em relação à produtividade, ou seja um custo maior por unidade produzida. Uma empresa que pague mais a um trabalhador menos produtivo, que produz menos, é naturalmente, uma empresa menos competitiva.

Os CTUPs têm vindo a aumentar mais rapidamente em Portugal do que na média da zona Euro, o que se pode verificar no gráfico da Figura 38 que diz respeito ao sector da construção. Enquanto nos últimos três anos há uma tendência na Zona Euro para o crescimento dos CTUP's abrandar o mesmo não se verifica em Portugal. Dado isto, é deveras benéfico investir numa construção com custos de trabalho mais baixos.

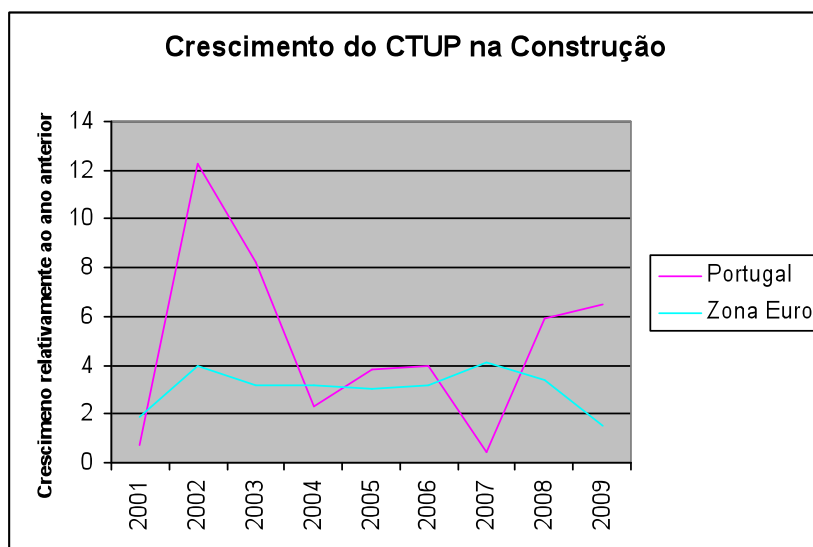


FIGURA 38, CTUP na construção em Portugal,
Fonte OECD, Organization for Economic Co-operation and Development¹

¹ http://www.oecd.org/home/0,3305,en_2649_201185_1_1_1_1_1,00.html, consulta em 25 de Outubro de 2010

Geralmente, calcula-se o crescimento deste indicador para poder avaliar se os salários crescem a uma taxa superior à produtividade dos trabalhadores. Para este estudo, através de uma ligeira manipulação deste indicador, pode-se concluir qual a estrutura que tem um custo de trabalho por unidade produzida menor.

Note-se que:

$$\begin{aligned}\text{CTUP} &= \text{Salário por hora} / \text{Valor acrescentado da Casa por hora de trabalho} = \\ &= \text{Total dos salários por casa} / \text{total de horas trabalhadas} / \text{valor acrescentado da} \\ &\quad \text{Casa} / \text{total de horas trabalhadas} = \\ &= \text{Total dos salários por casa} / \text{Valor acrescentado da Casa}.\end{aligned}$$

Portanto usando os custos de trabalho da Tabela 48 e os VABs calculados acima obtém-se:

Construção convencional:	0,37
Alvenaria estrutural:	0,31

A estrutura convencional tem um CTUP associado mais alto em comparação com a alvenaria estrutural, o que significa um nível de eficiência inferior dado que o custo de trabalho por unidade produzida é superior. Como já mencionado, a alvenaria estrutural requer mais horas de trabalho, contudo o salário médio na construção convencional é superior, uma vez que necessita mais trabalhadores especializados. Portanto, o CTUP superior significa que o maior custo por hora não é acompanhado por um valor acrescentado suficientemente superior.

Por fim o sector de construção tem sérias responsabilidades no que respeita ao impacto negativo ambiental que lhe está adjacente. Pelo que também se pode comparar estes métodos relativamente às suas emissões de dióxido de carbono. No panorama europeu, em que cada vez mais os países se comprometem a proteger o ambiente, surgem diversas sugestões de tributações sobre a emissão de CO₂ e restrições. Por outro lado alguns países começaram a subsidiar as indústrias que despendem esforços no sentido de minimizar estas emissões. Apesar de em Portugal ainda não existirem custos directos ou recompensas associadas à construção, muito possivelmente no futuro existirão pelo que nesse caso a estrutura convencional terá custos superiores à alvenaria estrutural no que concerne a emissão de gases. Contudo, independentemente de existirem custos directos associados, a sustentabilidade é um conceito que ganha cada vez mais relevo e se torna imprescindível para o País e o seu protagonismo no mundo, pelo que merece a pena apostar numa construção sustentável.

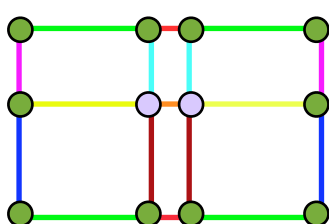
5. Aplicação dos Resultados nos Edifícios Típicos da Análise

Este quinto capítulo analisa nos subcapítulos 5.1 e 5.2 a aplicação dos resultados obtidos no capítulo 4 nos edifícios modelos a estudar e a forma destes edifícios. Nos subcapítulos 5.3 e 5.4 analisam-se os limites geométricos estruturais de alvenaria cerâmica estrutural, a sua importância e sua aplicação nos edifícios típicos, e por fim, a durabilidade desta solução construtiva.

Primeiro propõe-se um edifício modelo, um exemplo para poder quantificar os dados de sustentabilidade de um caso. A questão de qual será o possível impacto da forma do edifício sobre os dados de sustentabilidade é estudada. A forma como o edifício modelo é escolhido, com vãos diferentes e dimensões aplicáveis em qualquer edifício de habitação ou de serviços públicos, permite propor que o edifício modelo é um módulo que pode multiplicar-se nas várias direcções.

Para simplificar, uma vez que um edifício modelo já está quantificado em altura, em termos estruturais e de sustentabilidade, analisa-se o desenvolvimento horizontal do edifício modelo para poder identificar indicadores conforme a direcção adoptada, considerando que estes indicadores de sustentabilidade seriam independentes do piso. Desde modo o edifício modelo desenvolve-se em seis modelos (1, 2, 3, 4, 5, 5a) de um piso com as seguintes formas geométricas em planta:

EDIFÍCIO 1, MODELO SIMPLES



SIMBOLOGIA

Parede exterior vão 2m:



Parede exterior vão 4m:



Parede exterior vão 6m:



Parede exterior vão 7m:



Parede interior vão 2m:



Parede interior vão 4m:



Parede interior vão 6m:



Parede interior vão 7m:



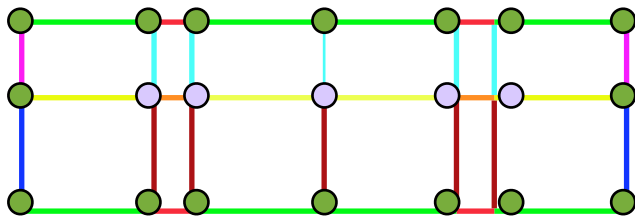
Pilar exterior:



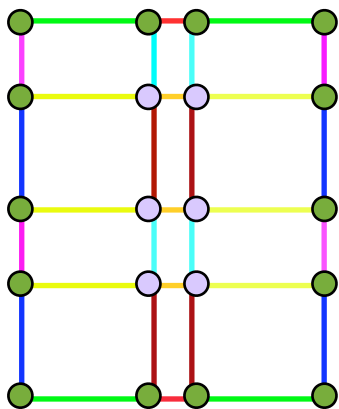
Pilar interior:



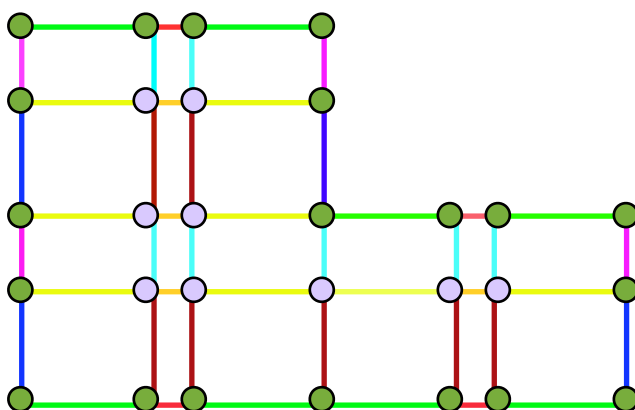
EDIFÍCIO 2, MODELO DUPLICADO NO COMPRIMENTO



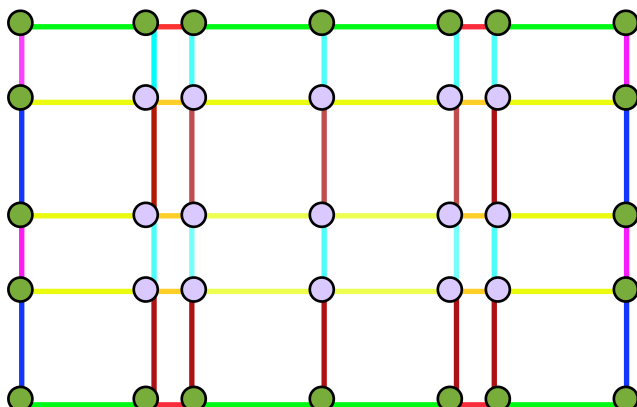
EDIFÍCIO 3, MODELO DUPLICADO NA LARGURA



EDIFÍCIO 4, MODELO TRIPLICADO



EDIFÍCIO 5, MODELO QUADRUPLICADO



EDIFÍCIO 5a, MODELO QUADRUPLICADO COM PÁTIO

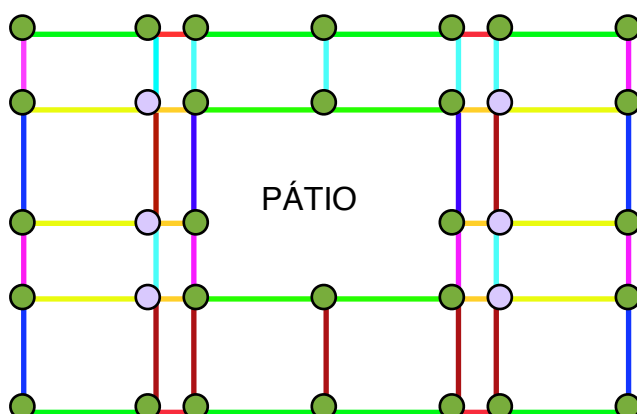


FIGURA 39, Geometria dos vários modelos de edificação

O último modelo nº 5a pode ter um pátio de qualquer dimensão. A variação de área de pátio altera a quantidade das paredes exteriores mas não a quantidade dos pilares. Um pátio reduz o número total de pilares numa unidade. Para poder continuar a comparação e a compatibilidade do modelo neste estudo mantém-se a mesma estrutura, o que implica utilizar os mesmos pilares interiores. Os modelos mostrados são iguais seja em construção convencional ou em alvenaria estrutural. Importante são as dimensões, que são iguais para qualquer destas soluções construtivas. A única diferença é a ausência dos pilares no caso de alvenaria estrutural. Por este motivo evita-se repetir a apresentação destes esboços para o modelo em alvenaria estrutural.

Nas tabelas seguintes aplica-se uma técnica de comparação que tem o seguinte conceito: todas as quantificações como a área, os materiais, etc. dos modelos diferentes são divididos pela respectiva quantificação do modelo 1 que se considere como o valor base, e as quantificações dos outros modelos serão um factor múltiplo do valor base, expresso em

$$F = \frac{P_{1+i}}{P_1}$$

onde

F: Indicador factor múltiplo
P: Parâmetro
i: Modelo variante
1: Modelo 1

Desta forma o factor múltiplo indica o crescimento com a sua intensidade. Este método de comparação só se aplica na comparação das estruturas nos casos que permitem estabelecer um modelo base que tem todas as características de edifício incluído.

TABELA 52, Comparação das áreas de construção e úteis nos diferentes modelos

ÁREA (m²)	1	2	3	4	5	5a
Área de construção (Ac)	167.62	331.26	330.52	495.16	655.16	655.16
Área útil (Au)	148.52	297.04	297.04	445.56	594.24	596.91
Diferença (Paredes) (D)	19.10	34.22	33.48	49.60	60.92	58.25
Factor Ac (Edifício i / Edifício 1)	1.00	1.98	1.97	2.95	3.91	3.91
Factor Au (Edifício i / Edifício 1)	1.00	2.00	2.00	3.00	4.00	4.02
Factor D (Edifício i / Edifício 1)	1.00	1.79	1.75	2.60	3.19	3.05

Nota: no Edifício 5a o pátio conta como área útil

Por exemplo na Tabela 52 observa-se logicamente que a intensidade de crescimento das áreas de construção e úteis dos modelos 1 a 5 são quase idênticos, mas a intensidade de crescimento de área ocupada pelas paredes é mais moderado. O modelo 5a destaca-se na ocupação das áreas pelas paredes por motivo de não ter paredes na zona do pátio, (ver Figuras 37 a 39).

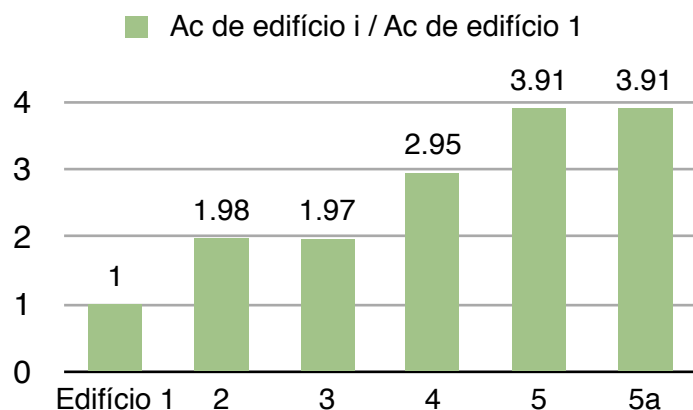


FIGURA 40, Factores múltiplos de relações entre as áreas de construção dos diferentes edifícios e o edifício 1 (m^2/m^2)

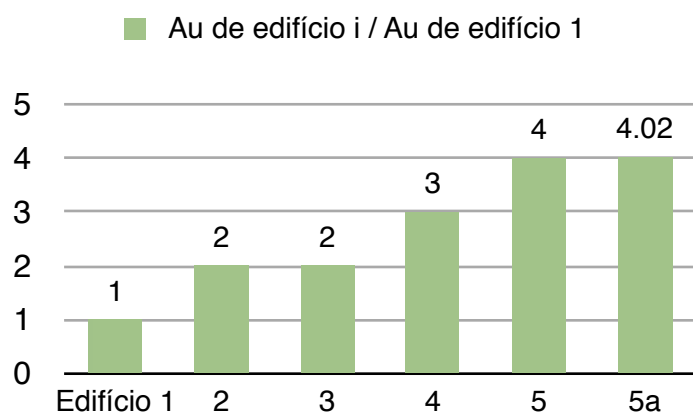


FIGURA 41, Factores múltiplos de relações entre as áreas úteis dos diferentes edifícios e o edifício 1 (m^2/m^2)

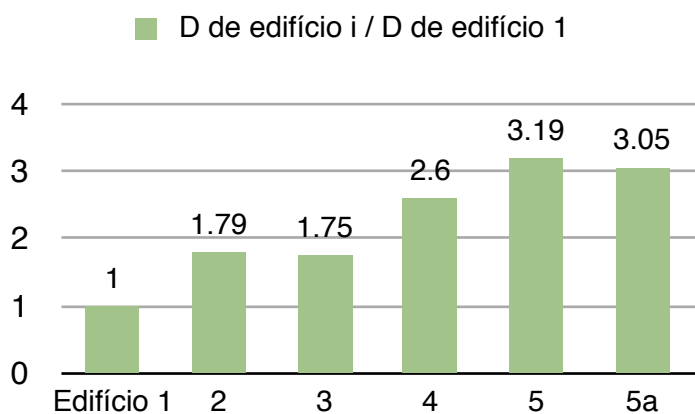


FIGURA 42, Factores múltiplos de relações entre a ocupação da área das paredes exteriores e interiores dos diferentes edifícios e o edifício 1 (m^2/m^2)

Na Tabela 52 e Figuras 37 e 39 comparam-se as áreas de construção e as áreas úteis dos vários modelos estabelecidos. A linha “Diferença” mostra a ocupação da área pelas paredes exteriores e interiores.

Nos modelos 5 e 5a as áreas de construção são iguais, mas a área útil do modelo 5a é 2,67 m² maior do que no modelo 5, porque na zona do pátio não há paredes divisórias em comparação com o modelo 5 na mesma zona; como se verifica na linha da “Diferença”.

Verifica-se que com o aumento da área útil a ocupação de área pelas paredes não é proporcional. Por exemplo o Edifício 5 tem uma área útil 4 vezes maior do que o Edifício 1, mas a área ocupada pelas paredes no Edifício 5 é 3,19 vezes maior do que no Edifício 1.

TABELA 53, Comparação das áreas das paredes exteriores nos edifícios diferentes

ÁREA (m ²)	1	2	3	4	5	5a
Fachada (F)	143.64	231.66	199.25	287.28	287.28	416.88
Área útil (Au)	148.52	297.04	297.04	445.56	594.24	596.91
Factor F (Edifício i / Edifício 1)	1.00	1.61	1.39	2.00	2.00	2.90
Rácio (F / Au)	0.97	0.78	0.67	0.64	0.48	0.70

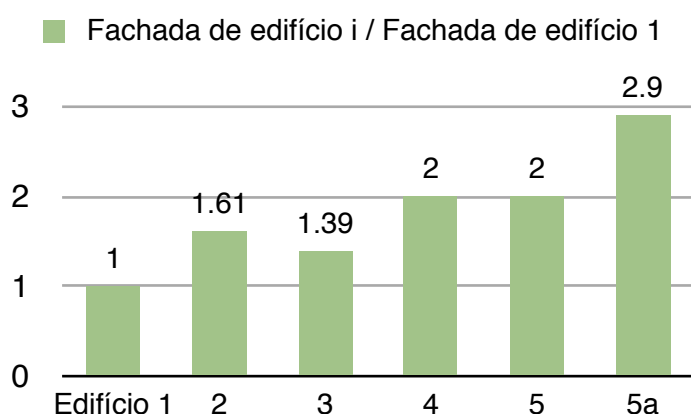


FIGURA 43, Factor múltiplo de relações entre as fachadas dos edifícios diferentes e o edifício 1 (m²/m²)

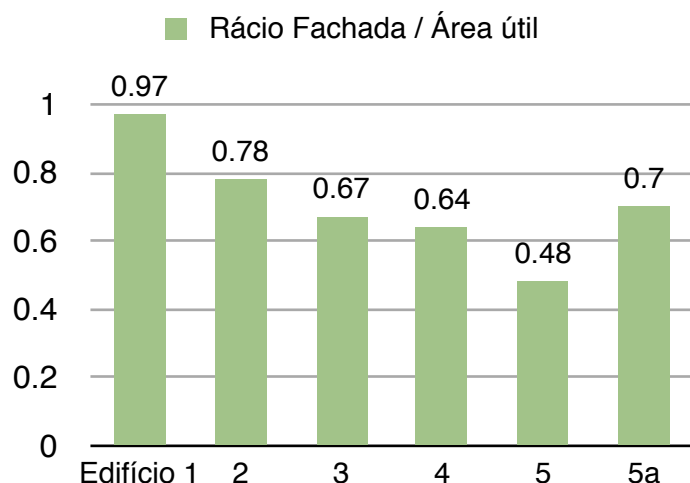


FIGURA 44, Rácio da fachada e área útil dos edifícios diferentes (m^2/m^2)

A Figura 40 mostra que com o desenvolvimento do modelo a área da fachada aumenta em conformidade; nos modelos 4 e 5 o aumento é o dobro em relação ao Edifício 1 e no Edifício 5a, por causa do pátio, a fachada é 2.90 vezes maior do que no Edifício 1. O Edifício 3, é uma excepção, tem menos área de fachada do que o Edifício 2. As relações entre as áreas das fachadas, as áreas úteis e as áreas de construção e o facto de não haver proporcionalidade nestas relações deve reflectir-se nos próximos estudos sobre a sustentabilidade dos dois modelos. O facto, que os edifícios 2 e 3 têm a mesma área útil, surge a comparação adicional de dois modelos separadamente nas quantificações de sustentabilidade.

5.1 O Estudo Estrutural

Em termos estruturais mantêm-se as dimensões já estabelecidas e usadas no edifício modelo. Embora estruturalmente, devido à altura do edifício (um piso) as dimensões das paredes exteriores possam ser reduzidas, quer no caso de construção convencional ou alvenaria estrutural, mas por razões de conforto ambiental e para manter a mesma qualidade térmica sem custos adicionais de isolamento térmico a espessura das paredes mantêm-se e pelo mesmo motivo também as dimensões dos pilares na construção convencional. No parágrafo seguinte avalia-se a decisão em termos económicos.

Nas paredes exteriores aplica-se o tijolo térmico com as dimensões 290x300x190mm. O custo deste tijolo (Julho de 2010) é de 5,814 €/m². Neste caso, o modelo com um piso, a largura do tijolo podia ser de 24 cm, devido a uma estrutura menos pesada. mas perde-se 5 cm de isolamento térmico. O tijolo aplicado neste caso tem as dimensões 240x300x190 mm e custa 4,76 €/m². Assim, que no tijolo ganha-se 1,054 €/m², mas tem que se gastar cerca de 1,98 €/m² no isolamento térmico de poliestireno extrudido de 30 mm de espessura para compensar a perda da resistência térmica e manter o mesmo nível de conforto ambiental do edifício modelo.

Por motivos de comparação da sustentabilidade entre os modelos não se fazem alterações estruturais e ajustar a estrutura com a forma do modelo. Deste modo as estruturas são sempre iguais para todos os modelos e a análise estrutural limita-se à quantificação dos materiais de construção. Esta forma permite o aumento dos pisos sem problemas de estabilidade até quatro pisos conforme com a recomendação do conselho de LNEC como já foi anteriormente mencionado.

Após a adopção desta hipótese, as quantificações dos materiais de construção são mostradas nas tabelas seguintes para diferentes modelos. As quantidades referem-se só aos materiais estruturais, às paredes exteriores e interiores sejam estruturais ou não estruturais.

Relembra-se que todos os modelos são considerados sem revestimento, uma vez que o revestimento se aplica proporcionalmente com a quantidade de material estrutural. Nesta quantificação as lajes de betão armado para as duas soluções construtivas são excluídas, porque as áreas são sempre iguais na comparação das duas soluções construtivas. Assim, só as paredes exteriores, interiores e os pilares são quantificados.

5.1.1 Análise dos Edifícios Modelo em Construção Convencional

No início, ao quantificar os materiais de construção calcula-se as paredes separadamente por vão para comparar melhor as alterações entre os modelos. Da mesma forma distingue-se entre as paredes ou pilares de exterior (fachada) e do interior. Por exemplo, a Figura 45 apresenta os dados da Tabela 54, os Edifícios 1 e 2 têm a mesma quantidade de parede exterior para o vão de 4 m. Os Edifícios 3 a 5 têm também uma quantidade igual e o Edifício 5a tem mais. O mesmo padrão nota-se

também com a parede de vão de 6 m. As paredes exteriores no vão de 4 e 6 metros são paredes laterais dos edifícios, (ver Figura 45), então levanta-se a questão se existe um padrão para as paredes frontais. Para as paredes frontais de vão de 2 e 7 m nota-se um padrão diferente, em particular observa-se que os Edifícios 2, 4 e 5 são iguais, (ver Figura 46).

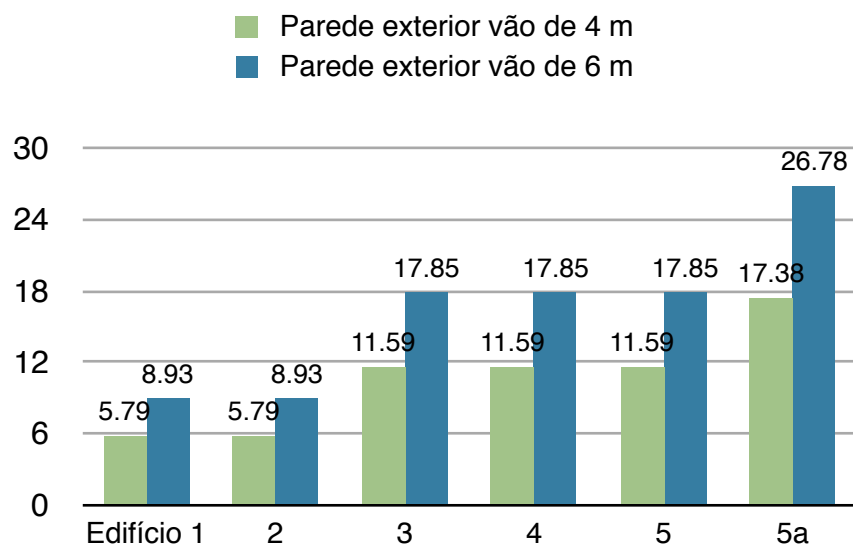


FIGURA 45, Quantidade de material de construção para as paredes exteriores de vão de 4 e 6 m

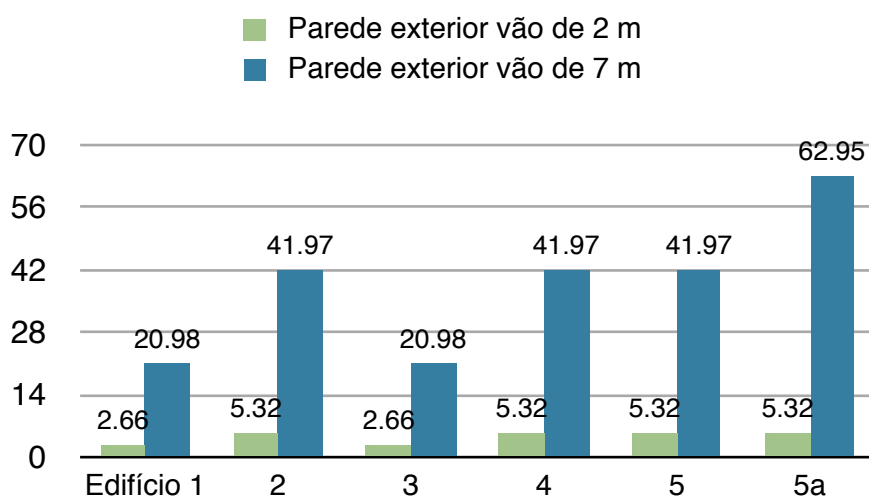


FIGURA 46, Quantidade de material de construção para as paredes exteriores de vão de 2 e 7 m

Para as paredes interiores nota-se também uma semelhança no padrão de desenvolvimento dos vãos de 2 m como os vãos de 7 m, e do mesmo modo entre os vãos de 4 e 6 metros. Estas análises são bastante interessantes no estudo das formas

e nas aplicações dos diferentes materiais. Neste estudo, como as paredes interiores ou exteriores utilizam o mesmo material limita-se nas próximas quantificações a determinação da quantidade dos materiais de construção por tipo de material ou seja por exterior ou interior.

TABELA 54, Construção Convencional - Quantidade de material de construção de edifícios modelo

PILARES/PAREDES (m³)	1	2	3	4	5	5a
PILAR EXTERIOR	2.43	3.89	3.40	4.86	4.86	6.80
PAREDE EXTERIOR, VÃO 2 m	2.66	5.32	2.66	5.32	5.32	5.32
PAREDE EXTERIOR, VÃO 4 m	5.79	5.79	11.59	11.59	11.59	17.38
PAREDE EXTERIOR, VÃO 6 m	8.93	8.93	17.85	17.85	17.85	26.78
PAREDE EXTERIOR, VÃO 7 m	20.98	41.97	20.98	41.97	41.97	62.95
TOTAL PAREDE EXTERIOR	38.37	62.01	53.09	76.73	76.73	112.44
TOTAL EXTERIOR	40.80	65.90	56.49	81.59	81.59	119.24
RÁCIO PILAR/PAREDE * 100	6.33	6.27	6.41	6.33	6.33	6.05
PILAR INTERIOR	0.49	1.22	1.46	2.19	3.65	1.46
PAREDE INTERIOR, VÃO 2 m	0.49	0.97	1.46	1.95	2.92	2.92
PAREDE INTERIOR, VÃO 4 m	2.12	5.29	4.24	7.41	10.59	7.41
PAREDE INTERIOR, VÃO 6 m	3.26	8.16	6.53	11.42	16.31	11.42
PAREDE INTERIOR, VÃO 7 m	3.84	7.67	11.51	15.34	23.01	11.51
TOTAL PAREDE INTERIOR	9.70	22.09	23.73	36.12	52.83	33.26
TOTAL INTERIOR	10.19	23.31	25.18	38.31	56.48	34.71
RÁCIO PILAR/PAREDE * 100	5.01	5.50	6.15	6.06	6.90	4.38
TOTAL PILAR	2.92	5.11	4.86	7.05	8.51	8.26
TOTAL PAREDE	48.07	84.10	76.82	112.85	129.56	145.70
RÁCIO PILAR/PAREDE	6.07	6.08	6.33	6.25	6.57	5.67
RÁCIO EXTERIOR/INTERIOR	4.00	2.83	2.24	2.13	1.44	3.44
Quantidade de Material	50.99	89.21	81.67	119.90	138.07	153.95

Verifica-se, de modo análogo às comparações das áreas anteriormente referidas, que o Edifício 3 necessita menos tijolo nas paredes exteriores e menos betão armado para os pilares, e um pouco mais nas paredes interiores. Em geral, consome menos material de construção em comparação com o Edifício 2 que ocupa a mesma área útil.

O rácio entre pilar e parede exterior ou interior mostra a eficiência estrutural para os modelos diferentes. Considerando que as paredes ocupam uma parte do volume do edifício e podiam ser estruturais, um valor relativamente menor do rácio pilar e parede exterior, por exemplo, mostra que a estrutura tem menos pilares em comparação com as paredes e assegurando a estabilidade acaba por ser mais eficiente. A Tabela 55, que quantifica as unidades de pilares, confirma a situação explicada. Por exemplo: o modelo 3 que necessita menos quantidade de material de construção, 81,67 m³, em relação ao edifício 2, que é de 89,21 m³, tem também um pilar menos (20) (ver Tabela 55). A redução do pilar não é proporcional com a redução do material de construção relativo ao modelo 2, e em consequência o rácio total de pilar/parede com 6,33 não favorece a estrutura em relação ao mesmo rácio para modelo 2 com 6,08. Isto significa que para manter o mesmo rácio para o modelo 3 a estrutura devia ter ainda menos pilares. Esta observação é referida nesta análise só por razões técnicas, mas não tem aplicabilidade neste contexto uma vez que uma alteração de estrutura por razões de estabilidade alterava a compatibilidade dos modelos e impedia a comparação dos modelos e o estudo. Assim, esta observação, serve para a continuação do estudo no âmbito económico/estrutural.

Por outro lado, observa-se, que o rácio parede exterior e interior diminui para os diferentes modelos, mas aumenta significativamente no Edifício 5a devido a uma reduzida quantidade de paredes interiores neste modelo.

TABELA 55, Construção convencional - Quantidade de pilares nos edifícios modelo

PILARES (Un)	1	2	3	4	5	5a
EXTERIOR	10	16	14	20	20	28
INTERIOR	2	5	6	9	15	6
TOTAL	12	21	20	29	35	34

A quantidade total de material consumido é comparado na Tabela 56 para os Edifícios 2 e 3; como já foi mencionado o Edifício 2 gasta mais 8,84% de material de construção que no Edifício 3.

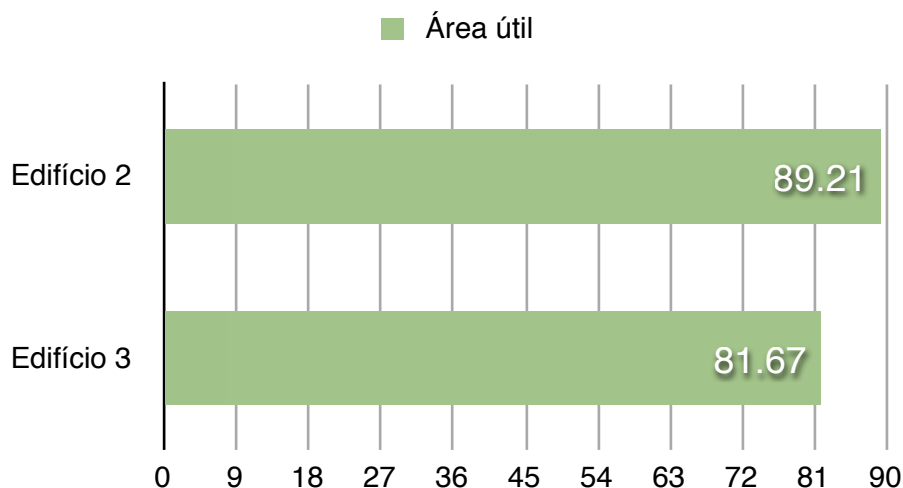


FIGURA 47, Comparação das quantidades dos materiais de construção entre os edifícios 2 e 3 em construção convencional (m³)

Na Tabela 56 a última coluna mostra a quantidade de material de construção por área útil, que é um indicador adequado que transmite a relação de proporcionalidade nas futuras quantificações.

TABELA 56, Construção Convencional - Edifícios 2 e 3 - Comparação da quantidade de material de construção

	Área útil (m²)	Quantidade de Material (QM) (m³)	QM / Área útil (m³/m²)
EDIFÍCIO 2	297.04	89.21	0.30
EDIFÍCIO 3	297.04	81.67	0.27

A próxima tabela compara o aumento de volume de quantidade dos materiais de construção em relação ao Edifício 1. O aumento está expresso com um factor multiplicador que mostra a tendência de aumento nos diferentes modelos propostos.

TABELA 57, Construção Convencional - Comparação do factor múltiplo da quantidade de material nos diferentes modelos em relação ao Edifício 1 (m^3/m^3)

FACTOR	1	2	3	4	5	5a
TOTAL PAREDE EXTERIOR	38.37	62.01	53.09	76.73	76.73	112.44
FACTOR (Edifício i / Edifício 1)	1.00	1.62	1.38	2.00	2.00	2.93
TOTAL PAREDE INTERIOR	10.19	23.31	25.18	38.31	56.48	34.71
FACTOR (Edifício i / Edifício 1)	1.00	2.29	2.47	3.76	5.54	3.41
TOTAL PILAR	2.92	5.11	4.86	7.05	8.51	8.26
FACTOR (Edifício i / Edifício 1)	1.00	1.75	1.66	2.41	2.91	2.83
TOTAL MATERIAL	50.99	89.21	81.67	119.90	138.07	153.95
FACTOR (Edifício i / Edifício 1)	1.00	1.75	1.60	2.35	2.71	3.02

■ Parede exterior de edifício i / Parede exterior de edifício 1

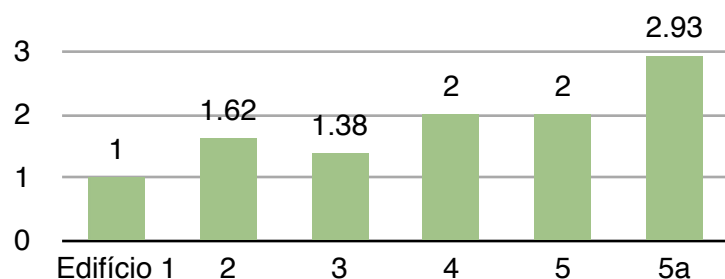


FIGURA 48, Relações entre as paredes exteriores dos diferentes edifícios e o edifício 1 (m^3/m^3)

A Figura 48 e os dados são conforme a Figura 43 que trata da área das fachadas, embora não seja igual com o volume das paredes exteriores mas a semelhança nas relações entre os modelos mantém-se.

■ Paredes interiores de edifício i / Paredes interiores de edifício 1

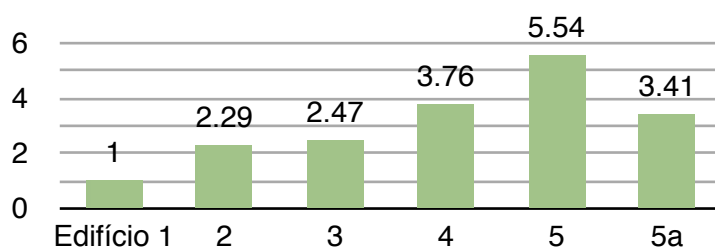


FIGURA 49, Relações entre as paredes interiores dos diferentes edifícios e o edifício 1 (m^3/m^3)

A Figura 49 nota-se o aumento gradual da relação das paredes interiores enquanto o Edifício 5a por causa do pátio, uma zona sem paredes interiores, demonstra uma relação inferior do Edifício 4.

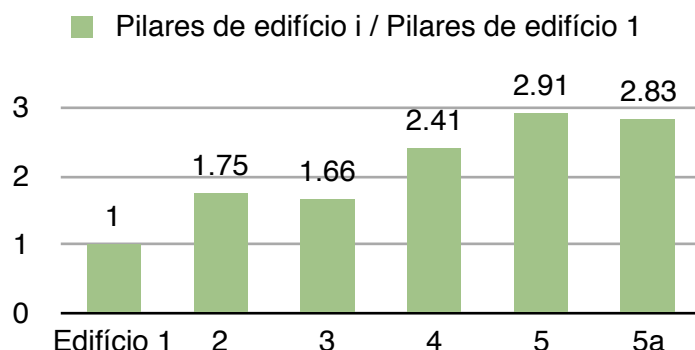


FIGURA 50, Relações entre os pilares dos diferentes edifícios e o edifício 1 (m^3/m^3)

As Figuras 50 e 51 confirmam o padrão já estabelecido. Nota-se que no modelo 5a existe um pilar menos, vinte em vez de vinte e um.

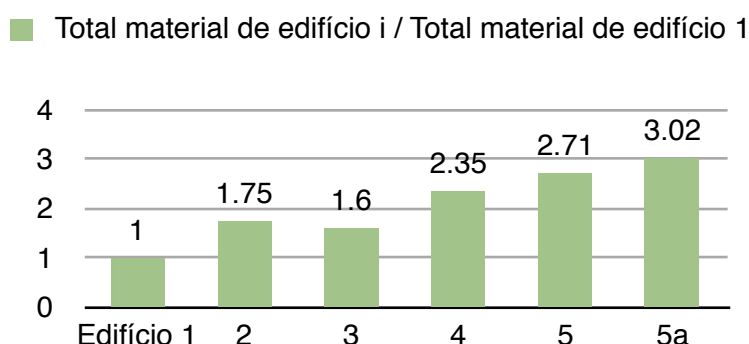


FIGURA 51, Relações entre a quantidade dos materiais dos diferentes edifícios e o edifício 1 (m^3/m^3)

É evidente que a situação do Edifício 3 confirma-se na Tabela 57 e nas Figuras 50 e 51, e também é evidente que com mais área de parede exterior, nas paredes interiores ou pilares há um aumento notável no factor indicador. É interessante verificar que no caso de Edifício 5a, o modelo com pátio, em comparação com o mesmo modelo sem pátio, Edifício 5, que tem menos paredes interiores (3,41 para 5,54) e pilares (2,83 para 2,91), mas o aumento de paredes exteriores é significativo (2,93 para 2,00), que se reflecte na quantidade total dos materiais de construção (3,02 para 2,71) e o Edifício 5a com pátio acaba de ter um maior consumo de materiais de

construção. Este facto reflecte-se obviamente também nas quantificações da quantidade de energia incorporada e nas emissões de poluentes.

Com o crescimento da área nos modelos diferentes entre o Edifício 1 até 5 as paredes interiores aumentam mais em relação ao Edifício 1 do que as paredes exteriores. No estudo de sustentabilidade, as dimensões diferentes de blocos cerâmicos, além do transporte, não tem relevância, por causa do fabrico que é igual para todos os blocos cerâmicos, considerando-se o volume total das paredes.

5.1.2 Análise dos Edifícios Modelo em Alvenaria Estrutural

A análise dos edifícios modelo em alvenaria estrutural é apresentada segundo a análise dos modelos em construção convencional. Primeiro apresenta-se a quantificação dos materiais de construção.

TABELA 58, Alvenaria Estrutural - Quantidade de material de construção de edifícios modelo

PAREDES (m³)	1	2	3	4	5	5a
TOTAL PAREDE EXTERIOR	40.72	65.77	56.38	81.43	81.43	118.73
TOTAL PAREDE INTERIOR	10.84	24.65	26.55	40.37	59.06	35.02
TOTAL PAREDE	51.56	90.42	82.93	121.80	140.49	153.75
RÁCIO EXTERIOR/INTERIOR	3.76	2.67	2.12	2.02	1.38	3.39

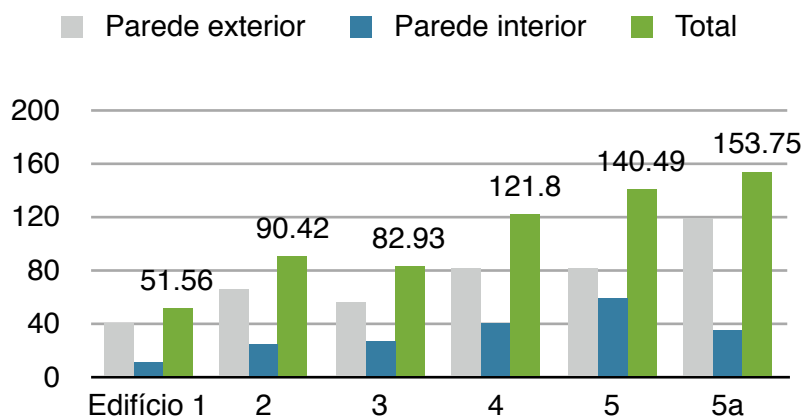


FIGURA 52, Quantidade de paredes na solução alvenaria estrutural (m³)

O volume das paredes cresce consequentemente para todos os modelos com excepção do Edifício 3, devido à área reduzida das paredes exteriores.

TABELA 59, Alvenaria Estrutural - Comparação das áreas e paredes para os Edifícios 2 e 3

	Área útil (m ²)	Quantidade de Material (m ³)	QM / Área (m ³ /m ²)
EDIFÍCIO 2	297.04	90.42	0.30
EDIFÍCIO 3	297.04	82.93	0.28

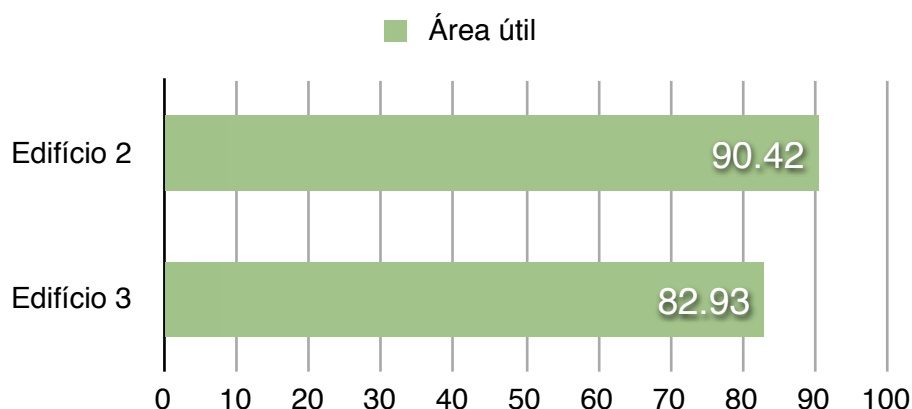


FIGURA 53, Comparação das quantidades dos materiais de construção para as paredes entre os edifícios 2 e 3 em alvenaria estrutural

De modo análogo à análise dos modelos em construção convencional apresenta-se o cálculo do indicador factor múltiplo que mostra a utilização do material de construção na solução alvenaria estrutural nos vários modelos por comparação com o modelo base.

TABELA 60, Alvenaria Estrutural - Comparação de factor múltiplo de quantidade de material de construção nos edifícios modelo em relação ao Edifício 1

	1	2	3	4	5	5a
TOTAL PAREDE EXTERIOR (m³)	40.72	65.77	56.38	81.43	81.43	118.73
FACTOR (Edifício i / Edifício 1)	1.00	1.62	1.38	2.00	2.00	2.92
TOTAL PAREDE INTERIOR (m³)	10.84	24.65	26.55	40.37	59.06	35.02
FACTOR (Edifício i / Edifício 1)	1.00	2.27	2.45	3.72	5.45	3.23
TOTAL MATERIAL (m³)	51.56	90.42	82.93	121.80	140.49	153.75
FACTOR (Edifício i / Edifício 1)	1.00	1.75	1.61	2.36	2.72	2.98

■ Parede exterior de edifício i / Parede exterior de edifício 1

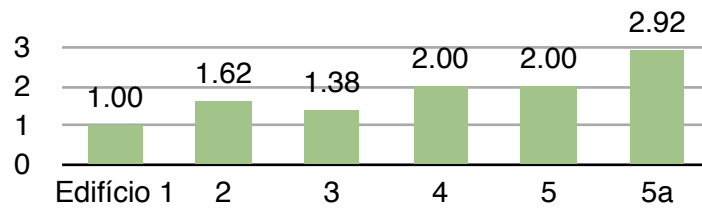


FIGURA 54, As relações entre as paredes exteriores dos diferentes edifícios e o edifício 1 (m³/m³)

■ Paredes interiores de edifício i / Paredes interiores de edifício 1

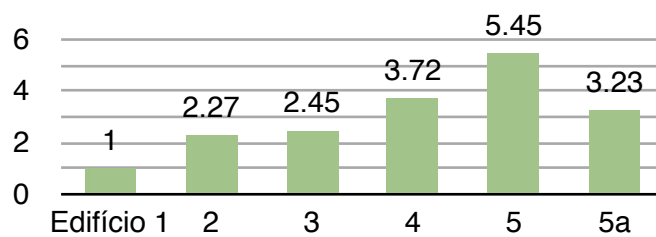


FIGURA 55, As relações entre as paredes interiores dos diferentes edifícios e o edifício 1 (m³/m³)

■ Total material de edifício i / Total material de edifício 1

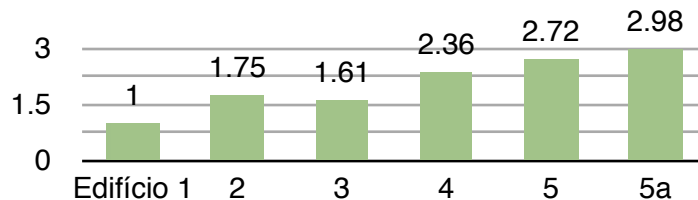


FIGURA 56, As relações entre a quantidade dos materiais dos diferentes edifícios e o edifício 1 (m³/m³)

As observações da solução construção convencional são da mesma forma válidas para a solução de alvenaria estrutural. Em consequência compara-se o consumo das quantidades de materiais de construção nas duas soluções construtivas para todos os modelos e igualmente dos factores múltiplos.

5.1.3 Comparação dos Modelos nas duas Soluções

Na comparação dos modelos nas duas soluções em construção convencional e alvenaria estrutural, obviamente mantém-se os mesmos padrões entre os modelos e

a diferença entre as duas soluções resulta de existência de pilares em betão armado na construção convencional e da sua ausência na alvenaria estrutural, (ver Tabela 61).

TABELA 61, Construção Convencional vs. Alvenaria Estrutural - Comparação de quantidade de material de construção de edifícios modelo

QUANTIDADE DO MATERIAL (m ³)	1	2	3	4	5	5a
CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	50.99	89.21	81.67	119.90	138.07	153.95
ALVENARIA ESTRUTURAL	51.56	90.42	82.93	121.80	140.49	153.75
DIFERENÇA	-0.57	-1.21	-1.26	-1.90	-2.42	0.20

Salienta-se que a alvenaria estrutural nesta comparação em termo de volume tem pouca mais quantidade de material por causa da espessura das paredes interiores. O Edifício 5a que tem menos paredes interiores tem quase a mesma quantidade em ambas as soluções.

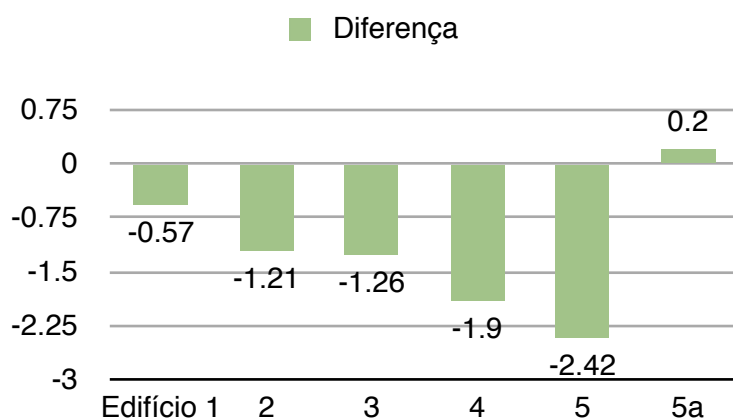


FIGURA 57, Diferença de quantidade de material do construção entre a construção convencional e alvenaria estrutural para os edifícios modelo (m³)

De acordo com a Figura 57, o gráfico mostra um aumento gradual da diferença de quantidade dos materiais de construção entre a construção convencional e alvenaria estrutural. Isto implica que com o desenvolvimento do modelo a diferença ganha cada vez mais significado. Por exemplo, o Edifício 4 tem 2,36 vezes mais material do que do Edifício 1, e no modelo a seguir, Edifício 5, o aumento é de 2,72 do material utilizado em relação ao Edifício 1. Este facto significa que com o desenvolvimento horizontal do edifício em termos de sustentabilidade a alvenaria estrutural é mais favorável, uma vez que a análise ambiental depende de massa de material de construção utilizado, o que vai ser analisado no próximo capítulo.

Comparando a quantidade de material por m² de área útil nas duas soluções construtivas, (ver Tabela 62), nota-se que com o crescimento da área útil a quantidade do material está relativamente reduzido em função da área. Este facto é evidente e não é uma novidade para os arquitectos, engenheiros ou pessoas que estão em contacto com a construção, mas é interessante notar que o indicador para a quantidade do material por área para as duas soluções é quase igual.

TABELA 62, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de quantidade de material (M)

QUANTIDADE DO MATERIAL (m ³)	1	2	3	4	5	5a
CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	50.99	89.21	81.67	119.90	138.07	153.95
ALVENARIA ESTRUTURAL	51.56	90.42	82.93	121.80	140.49	153.75
Área útil	148.52	297.04	297.04	445.56	594.24	596.91
M CC / área útil (m ³ / m ²)	0.34	0.30	0.27	0.27	0.23	0.26
M AE / área útil (m ³ / m ²)	0.35	0.30	0.28	0.27	0.24	0.26
Factor área útil, Ed.1+i/Ed.1	1.00	2.00	2.00	3.00	4.00	4.02
Factor CC, Ed.1+i/Ed.1	1.00	1.75	1.60	2.35	2.71	3.02
Factor AE, Ed.1+i/Ed.1	1.00	1.75	1.61	2.36	2.72	2.98
F _{CC} =Factor CC / Factor área útil	1.00	0.87	0.80	0.78	0.68	0.75
F _{AE} =Factor AE / Factor área útil	1.00	0.88	0.80	0.79	0.68	0.74

Outro indicador estudado neste contexto é o produto de factor múltiplo de material com o valor recíproco de factor múltiplo da área útil.

$$\frac{\sum_{i=1}^n A_{1+i}}{A_1} > \frac{\sum_{i=1}^n M_{1+i}}{M_1} \quad I_{AM} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{1+i}}{M_1} \times \frac{A_1}{\sum_{i=1}^n A_{1+i}} < 1$$

onde

- I_{AM} Indicador de relação área útil e material estrutural de construção
- A₁ Área útil de modelo base
- M₁ Materiais de construção de modelo base
- i Modelos seguintes
- n Numero de modelos

O objectivo é mostrar, que no caso de um estudo preliminar, um projecto pode beneficiar do aumento de área útil, no caso em que este aumento é relativamente superior em relação ao aumento dos materiais de construção, considerando que o benefício não é absoluto e é relativo, uma vez que está relacionado com a área útil.

Desta forma o indicador de produto é favorável se é menor. Por exemplo, na Tabela 62, para as duas soluções construtivas com pequenas diferenças, o produto é descendente na comparação dos modelos e no caso de Edifício 5a o valor é ainda inferior ao do Edifício 4, que indica sua superioridade. Pode considerar-se ser este valor um indicador de sustentabilidade, uma vez que na maioria dos casos a sustentabilidade é dependente de quantidade dos materiais utilizados. Portanto um indicador que se aproxima de 0,75 (último valor na Tabela 62) ou consegue ultrapassar este limite é favorável. Seria interessante numa outra investigação verificar se há um valor limite para este indicador.

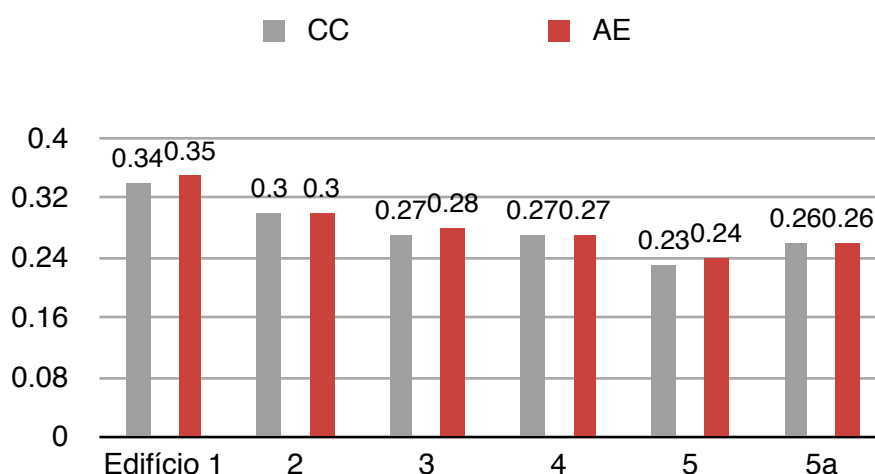


FIGURA 58, Comparação da quantidade do material por área útil nas solução de construção convencional (CC) e alvenaria estrutural (AE) (m³/m²)

De forma já estabelecida compara-se também as quantidades dos materiais de construção nos Edifícios 2 e 3, (ver Figura 59).

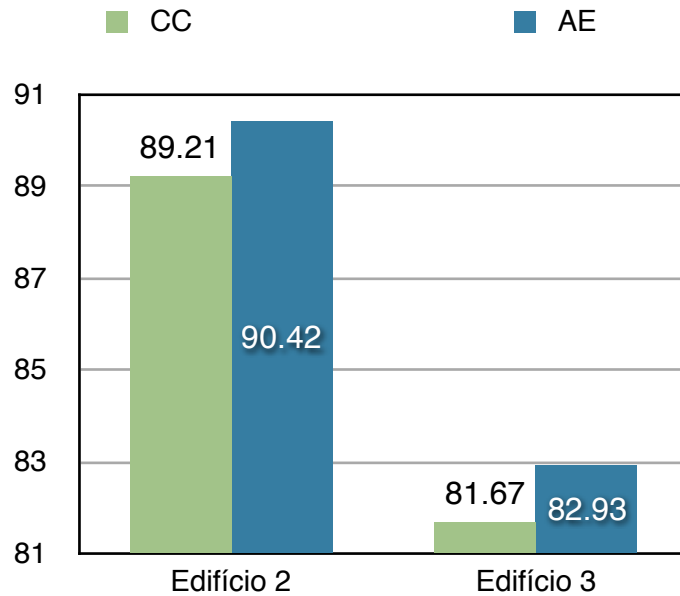


FIGURA 59, Comparação das quantidades dos materiais de construção entre os Edifícios 2 e 3 em soluções construtivas, construção convencional (CC) e alvenaria estrutural (AE)

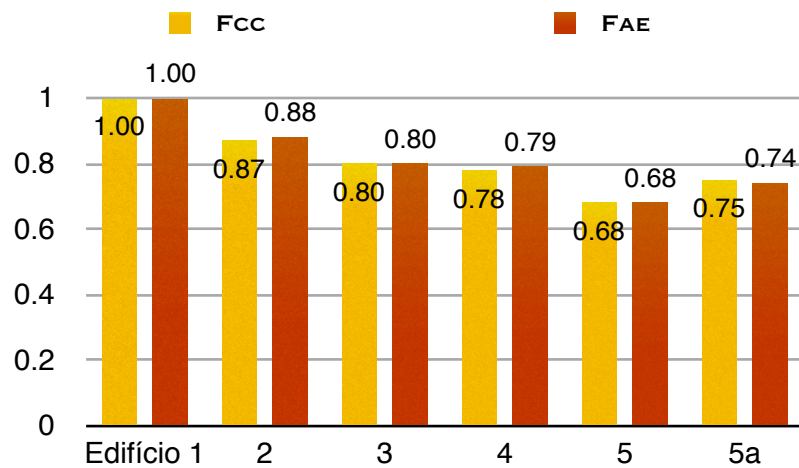


FIGURA 60, Comparação dos factores FCC e FAE

Nota: FCC = Factor de Construção Convencional; FAE = Factor de Alvenaria Estrutural

Na Figura 60 nota-se que o indicador factor diminui de acordo com o desenvolvimento dos edifícios objecto de estudo.

TABELA 63, Construção Convencional vs. Alvenaria Estrutural - Comparação do factor múltiplo de quantidade de material de construção para os diferentes modelos

FACTOR	1	2	3	4	5	5a
PAREDE EXTERIOR						
CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	1.00	1.62	1.38	2.00	2.00	2.93
ALVENARIA ESTRUTURAL	1.00	1.62	1.38	2.00	2.00	2.92
PAREDE INTERIOR						
CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	1.00	2.29	2.47	3.76	5.54	3.41
ALVENARIA ESTRUTURAL	1.00	2.27	2.45	3.72	5.45	3.23
MATERIAL						
CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	1.00	1.75	1.60	2.35	2.71	3.02
ALVENARIA ESTRUTURAL	1.00	1.75	1.61	2.36	2.72	2.98

Como se pode verificar na Tabela 63 os factores são quase todos muito próximos para todos os modelos seja em construção convencional ou seja em alvenaria estrutural. Só no modelo Edifício 5a se nota uma diferença pequena nos factores da parede interior e material de construção total entre as duas soluções construtivas. O Edifício 5a é o modelo mais complexo geometricamente por causa do pátio.

O factor para as paredes interiores mostra que no caso de construção convencional é 3,41 e no caso de alvenaria estrutural 3,23, o que significa que aparentemente nos modelos mais complexos o aumento de material para as paredes interiores em relação a um modelo mais simples é maior na solução de construção convencional do que na solução de alvenaria estrutural.

Verifica-se também que entre Edifício 4 e 5, a quantidade de paredes exteriores é igual porque entre os dois modelos a área da fachada é igual, mas o Edifício 5 tem uma área coberta muito maior. Naturalmente as paredes divisórias são mais extensas no Edifício 5 em comparação com Edifício 4, mas no valor total dos materiais de construção nota-se que a diferença entre os dois modelos não é significativa, embora o pequeno aumento dos materiais de construção não compensa a área que se ganha no Edifício 5.

5.2 O Estudo Ambiental

A poluição e a energia incorporada são valores directamente dependentes do volume de material de construção utilizado, deste modo é expectável que o padrão observado entre os seis modelos nos estudos anteriores mantenha-se válida. Em primeiro lugar analisa-se a solução em construção convencional.

TABELA 64, Construção Convencional - Quantidade de emissões de CO₂ de construção de edifícios modelo

Emissão de CO₂ (kgCO₂)	1	2	3	4	5	5a
PAREDE EXTERIOR	6679	10794	9241	13356	13356	19572
PAREDE INTERIOR	967	2201	2364	3599	5264	3314
PILAR INTERIOR	287	715	856	1284	2140	856
PILAR EXTERIOR	1425	2281	1993	2849	2849	3987
PILAR	1712	2996	2849	4133	4989	4843
TOTAL	9358	15991	14454	21088	23609	27729
FACTOR (Edifício i / Edifício 1)	1.00	1.71	1.54	2.25	2.52	2.96

O valor do Factor mostra exactamente o mesmo padrão como na quantificação dos materiais de construção. O aumento da poluição é proporcional ao aumento do consumo dos materiais de construção, e obviamente com o aumento de área de construção a poluição aumenta também, Edifícios 1, 2, 4 e 5. O Edifício 3 com menos quantidade de material e, conseqüentemente, com menos poluição ficando na posição mais favorável. Em relação ao Edifício 5a pode-se concluir que o aumento relativo da poluição em 9% comparada com Edifício 5 não é elevada, salientando que o Edifício 5a representa uma forma mais complexa que significa uma arquitectura mais elaborada.

Na Tabela 65 verifica-se a energia incorporada na solução de construção convencional. As relações dos valores entre os edifícios modelo devem mostrar o mesmo padrão e a mesma proporcionalidade como na quantificação de poluição; a energia incorporada é igualmente dependente da quantidade de material de construção.

TABELA 65, Construção Convencional - Quantidade da energia incorporada de construção de edifícios modelo

Consumo de Energia (MJ)	1	2	3	4	5	5a
PAREDE EXTERIOR	62,006	100,208	85,793	123,996	123,996	181,703
PAREDE INTERIOR	8,798	20,036	21,523	40,064	32,761	47,917
PILAR INTERIOR	3,402	8,469	10,135	15,203	25,338	10,135
PILAR EXTERIOR	16,869	27,004	23,603	33,738	33,738	47,206
PILAR	20,271	35,473	33,738	48,941	59,076	57,341
TOTAL	91,075	155,717	141,054	213,001	215,833	286,961
FACTOR	1.00	1.71	1.55	2.34	2.37	3.15

Nas Tabelas 66 e 67 apresentam-se as quantificações da poluição e da energia incorporada na solução alvenaria estrutural. As relações entre os valores em comparação entre os modelos tem evidentemente o mesmo padrão com ligeiras diferenças com a construção convencional, devido ao facto que nesta solução os pilares são substituídos com a parede em alvenaria, o que resulta numa pequena diferença na dimensão. Os pilares têm, seja exterior ou interior, uma largura de 30 cm e neste caso se for uma substituição pela parede de alvenaria, no exterior são 29 cm (menos 1 cm) e no interior 11,5 cm (menos 18,5 cm). Este facto nota-se especialmente no Edifício 5 onde há mais pilares interiores; na construção convencional os factores para poluição e energia incorporada são respectivamente 2,72 e 2,75 (Tabelas 64 e 65), na alvenaria estrutural os factores são 2,67 e 2,69 (Tabelas 66 e 67), ligeiramente mais pequenos pela pequena redução mencionada no material de construção.

TABELA 66, Alvenaria Estrutural - Quantidade de emissões de CO₂ de construção de edifícios modelo

Emissão de CO₂ (kgCO₂)	1	2	3	4	5	5a
PAREDE EXTERIOR	7,088	11,449	9,814	14,175	14,175	20,667
PAREDE INTERIOR	1,710	3,889	4,189	6,370	9,318	5,525
TOTAL	8,798	15,338	14,003	20,545	23,493	26,192
FACTOR	1.00	1.74	1.59	2.34	2.67	2.98

TABELA 67, Alvenaria Estrutural - Quantidade de consumo de energia de construção de edifícios modelo

Consumo de Energia (MJ)	1	2	3	4	5	5a
PAREDE EXTERIOR	65,804	106,284	91,110	131,591	131,591	191,868
PAREDE INTERIOR	16,358	37,197	40,064	60,918	89,122	52,845
TOTAL	82,162	143,481	131,174	192,509	220,713	244,713
FACTOR	1.00	1.75	1.60	2.34	2.69	2.98

Em seguida, apresenta-se a comparação ambiental, a emissão de CO₂ e a energia incorporada, das soluções construtivas em betão armado e alvenaria estrutural resumindo os dados obtidos para os seis edifícios modelo e comparando melhor os resultados.

TABELA 68, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de emissões de CO₂ na construção de edifícios modelo

Emissão de CO ₂ (kgCO ₂)	1	2	3	4	5	5a
CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	9,358	15,991	14,454	21,088	23,609	27,729
ALVENARIA ESTRUTURAL	8,798	15,338	14,003	20,545	23,493	26,192
DIFERENÇA (CC-AE)	560	653	451	543	116	1,537
INDICADOR (%)	6.37	4.26	3.22	2.64	0.49	5.87
FACTOR	1.00	1.17	0.81	0.97	0.21	2.74

TABELA 69, Construção Convencional vs. Alvenaria Estrutural - Comparação de consumo de energia na construção de edifícios modelo

Consumo de Energia (MJ)	1	2	3	4	5	5a
CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	91,075	155,717	141,054	213,001	215,833	286,961
ALVENARIA ESTRUTURAL	82,162	143,481	131,174	192,509	220,713	244,713
DIFERENÇA (CC-AE)	8,913	12,236	9,880	20,492	-4,880	42,248
INDICADOR (%)	10.85	8.53	7.53	10.64	-2.21	17.26
FACTOR	1.00	1.37	1.11	2.30	-0.55	4.74

O Factor nas Tabelas 68 e 69 é o múltiplo da Diferença.

$$\text{Factor} = \text{DIFERENÇA Edifício } i / \text{DIFERENÇA Edifício } 1$$

Por exemplo, na Tabela 68 a diferença na emissão de CO₂ entre as duas soluções construtivas do Edifício 2 é 1,17 vezes maior do que no Edifício 1.

Deve ser mencionada que a diferença do valor da poluição e da energia incorporada no Edifício 5a é mais notável. Isto significa que edifícios com mais paredes exteriores podem beneficiar mais de alvenaria estrutural em termos ambientais como é o caso do Edifício 5a.

Os indicadores nas Tabelas 68 e 69 são as diferenças das emissões de CO₂ e energia incorporada entre as duas soluções construtivas em percentagem. O indicador maior encontra-se no Edifício 1 ou Edifício 5a. Conclui-se que os edifícios de pequena ou de grande dimensão com mais paredes exteriores podem beneficiar de sustentabilidade ambiental com a alvenaria estrutural.

No caso de emissões de CO₂, na alvenaria estrutural a redução é de 6% e no caso de energia incorporada (Tabela 69) de 11% nos edifícios pequenos e 17% nos edifícios com mais paredes exteriores. Salienta-se que nas Tabelas 54 e 58 o rácio do volume de material de construção utilizado para a parede exterior e interior confirma esta observação. Na construção convencional o rácio para o Edifício 1 é de 4 e para Edifício 5a é de 3,44, na alvenaria estrutural para os mesmos edifícios 3,76 e 3,39 respectivamente. Para os outros modelos o rácio é gradualmente descendente nas duas soluções construtivas. Verifica-se que o rácio mínimo para assegurar estas percentagens é portanto 3,4. Depois de ter chegado a estas conclusões é importante determinar estes valores relativos à área útil dos modelos.

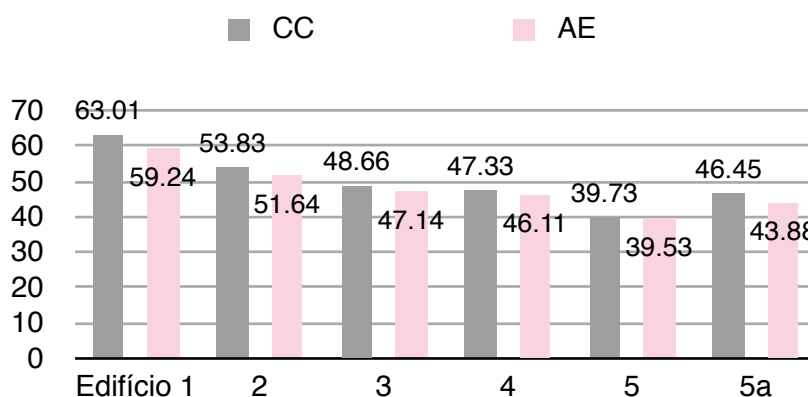
TABELA 70, Construção Convencional - Quantidade das emissões de CO₂ de edifício modelo

CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	1	2	3	4	5	5a
Emissão de CO₂ (kgCO₂)	9,358	15,991	14,454	21,088	23,609	27,729
Área útil (m²)	148.52	297.04	297.04	445.56	594.24	596.91
CO₂ / área útil (kgCO₂ / m²)	63.01	53.83	48.66	47.33	39.73	46.45

TABELA 71, Alvenaria Estrutural - Quantidade de emissões de CO₂ de edifícios modelo

ALVENARIA ESTRUTURAL	1	2	3	4	5	5a
Emissão de CO ₂ (kgCO ₂)	8,798	15,338	14,003	20,545	23,493	26,192
Área útil (m ²)	148.52	297.04	297.04	445.56	594.24	596.91
CO ₂ / área útil (kgCO ₂ / m ²)	59.24	51.64	47.14	46.11	39.53	43.88

Os dados relacionados a área útil dos edifícios mostra claramente a vantagem do desenvolvimento em planta dos Edifícios 1 até 5a. Este resultado está em conformidade com os dados obtidos na comparação de quantidade do material utilizado por área útil mostrado na Figura 58. A poluição por área útil da construção para qualquer das soluções construtivas está a reduzir-se continuamente do Edifício 1 até ao 5. Entre os Edifícios 2 e 3, em que a área útil é igual, o Edifício 3 destaca-se pelo facto conhecido que utiliza menos quantidade de material. O Edifício 5a, que representa uma arquitectura mais complexa e utiliza mais material em comparação com os Edifícios 1 a 4, mostra menos poluição por área útil. Seria interessante numa futura investigação verificar se para os modelos seguintes o aumento de quantidade de material utilizado continua a ser relativamente inferior em relação ao aumento da área útil.

FIGURA 61, Comparação das emissões de CO₂ por área útil nas solução de construção convencional (CC) e alvenaria estrutural (AE) (kgCO₂/m²)

Estas observações repetem-se com a análise da quantidade de energia incorporada por área útil nas duas soluções construtivas conforme as tabelas e gráfico seguintes.

TABELA 72, Construção Convencional - Quantidade de energia incorporada nos edifícios modelo

CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	1	2	3	4	5	5a
Energia incorporada (MJ)	91,075	155,717	141,054	213,001	215,833	286,961
Área útil (m ²)	148.52	297.04	297.04	445.56	594.24	596.91
Energia / área útil (MJ/m ²)	613.22	524.23	474.87	478.05	363.21	480.74

TABELA 73, Alvenaria Estrutural - Comparação de energia incorporada nos edifícios modelo

ALVENARIA ESTRUTURAL	1	2	3	4	5	5a
Energia incorporada (MJ)	82,162	143,481	131,174	192,509	220,713	244,713
Área útil (m ²)	148.52	297.04	297.04	445.56	594.24	596.91
Energia / área útil (MJ/m ²)	553.20	483.04	441.60	432.06	371.42	409.97

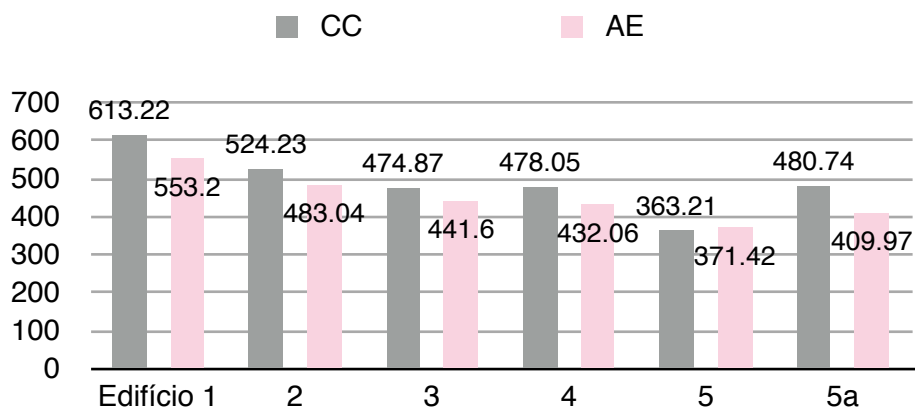


FIGURA 62, Comparação da energia incorporada por área útil nas solução de construção convencional (CC) e alvenaria estrutural (AE) (MJ/m²)

A comparação dos indicadores ambientais das duas opções construtivas é exemplificada nas Tabelas 74 e 75 que mostram a eficiência entre a construção convencional e a alvenaria estrutural uma em função de energia incorporada e a outra em função da emissão de CO₂.

TABELA 74, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de indicadores de emissões de CO₂ de construção de edifícios modelo

Emissão de CO ₂ (kgCO ₂)	1	2	3	4	5	5a
CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	9,358	15,991	14,454	21,088	23,609	27,729
ALVENARIA ESTRUTURAL	8,798	15,338	14,003	20,545	23,493	26,192
EFICIÊNCIA (AE/CC)	0.94	0.96	0.97	0.97	1.00	0.94

TABELA 75, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de indicadores de consumo de energia de construção de edifícios modelo

Consumo de Energia (MJ)	1	2	3	4	5	5a
CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	91,075	155,717	141,054	213,001	215,833	286,961
ALVENARIA ESTRUTURAL	82,162	143,481	131,174	192,509	220,713	244,713
EFICIÊNCIA (AE/CC)	0.90	0.92	0.93	0.90	1.02	0.85

Verifica-se que a eficiência de emissão de CO₂ varia entre 0.94 e 1.0. Então a eficiência média é de 0,97. Para o consumo de energia a eficiência varia entre 0,85 e 1,02, assim a eficiência média é de 0,93.

Destaque-se que a eficiência não varia muito. Este facto tem a ver com a proporcionalidade da quantidade do material que se verificou anteriormente. Nos Edifícios 1 até 5 a quantidade do material é proporcional ao crescimento e o desenvolvimento regular da área útil. O Edifício 5a que é diferente do desenvolvimento regular e representa uma arquitectura mais complexa com mais paredes exteriores habilitou-se com uma eficiência maior.

Nas duas tabelas a seguir compara-se os mesmos indicadores agora por área útil de construção, mas como se nota a eficiência continua a ser igual porque na comparação por edifício a área útil está incluída e é só um factor que nas seguintes tabelas está separada e focada para salientar as emissões e gastos energéticos por área útil de construção, mas evidentemente não pode ter um impacto nos indicadores. Sendo assim pode-se concluir que na solução alvenaria estrutural a eficiência média para os gastos energéticos é de 0,93, o que significa uma redução de 7% de energia incorporada em relação à construção convencional. No caso das emissões de CO₂, a eficiência média é 0,93, o que implica também uma redução de 7% a favor de alvenaria estrutural em relação à construção convencional.

TABELA 76, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de indicador de emissões de CO₂ por área útil de construção de edifícios modelo

Emissão de CO ₂ (kgCO ₂)	1	2	3	4	5	5a
CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	63.01	53.83	48.66	47.33	39.73	46.45
ALVENARIA ESTRUTURAL	59.24	51.64	47.14	46.11	39.53	43.88
EFICIÊNCIA (AE/CC)	0.94	0.96	0.97	0.97	0.99	0.94

TABELA 77, Construção Convencional (CC) vs. Alvenaria Estrutural (AE) - Comparação de indicador de consumo de energia por área útil de construção de edifícios modelo

Consumo de Energia (MJ)	1	2	3	4	5	5a
CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL	613.22	524.23	474.87	478.05	363.21	480.74
ALVENARIA ESTRUTURAL	553.20	483.04	441.60	432.06	371.42	409.97
EFICIÊNCIA (AE/CC)	0.90	0.92	0.93	0.90	1.02	0.85

Pode-se resumir mais uma vez da seguinte forma:

sabendo que com o desenvolvimento horizontal do modelo com área útil crescente existe também um aumento dos materiais de construção e consequentemente o aumento da energia incorporada e da poluição no fabrico dos materiais de construção em termos absolutos. Contudo, considera-se os valores relativo à área útil, verifica-se que a energia incorporada e a poluição por área útil está a diminuir, justificando e favorecendo as construções de maior dimensão. Este facto pode ser expresso numa equação matemática.

$$\sum_{i=1}^n \frac{A_{1+i}}{A_1} > \sum_{i=1}^n \frac{M_{1+i}}{M_1}$$

em que

- A Área útil
- M Quantidade de Materiais de construção
- 1 Versão simplificado
- i Versões seguintes

Considere-se que sempre que há uma versão simplificada do projecto, a versão final ou seguinte deve ter uma área útil maior em comparação com o aumento do consumo dos materiais de construção. Esta observação pode ser feita na totalidade ou parcialmente, que na equação está assinalada com o símbolo de somatório.

Mais observa-se que as reduções dos valores nas duas soluções construtivas andam em paralelo e, em todos os casos, a solução em alvenaria estrutural é sempre favorável nos termos de sustentabilidade, económico e ambiental.

Estes valores são importantes nas classificações ambientais mencionadas no capítulo 3.2, embora este tipo de classificação ainda não esteja normalizada, mas o desenvolvimento internacional e especificamente europeia mostra cada vez mais que a redução na poluição e no consumo de energia em qualquer é cada vez mais importante.

5.3 Verificação dos Limites Geométricos para os Edifícios Típicos

Depois de ter obtidos os resultados de sustentabilidade e também em função da forma de um edifício levanta-se a questão dos limites geométricos para os edifícios típicos construídos em alvenaria estrutural. Os limites geométricos estão condicionados pelas regras estruturais e a exigência de conforto térmico, dois factores que obrigam legalmente a cumprir os requisitos mínimos de segurança estrutural e o mínimo gasto energético para aquecimento e arrefecimento dos edifícios.

A legislação aplicável como já mencionado anteriormente é o Eurocódigo 6 responsável para a estrutura em alvenaria, o Eurocódigo 8 que regulamenta a segurança estrutural contra as actividades sísmicas e o Decreto-Lei nº. 80/2006 de 4 de Abril, que determina os requisitos mínimos de qualificação energética e térmica dos edifícios.

Em termos estruturais o Eurocódigo 6 limita a altura e o comprimento de uma parede em alvenaria mesmo se a parede, como parte resistente de um edifício, se verificar no estado limite último na sua análise da resistência. Portanto, além de verificação da estrutura em alvenaria, as paredes, dependente da sua espessura, não podem ultrapassar certas dimensões - altura e comprimento. Este facto tem a ver com a baixa resistência à tracção das juntas da alvenaria

que, no caso de actuação das forças horizontais, pode resultar numa flexão da parede e, ultrapassando o estado limite, em rotura paralelo ou perpendicular às juntas da parede.

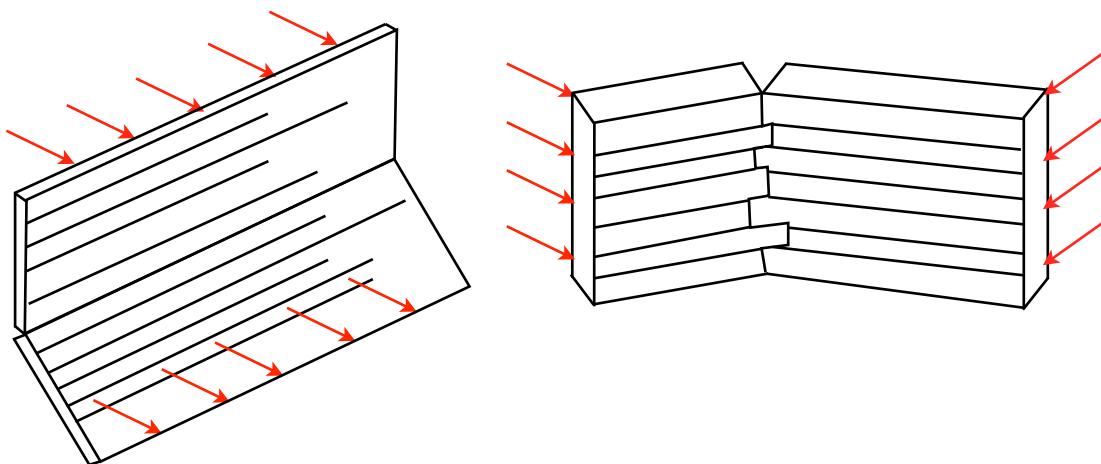
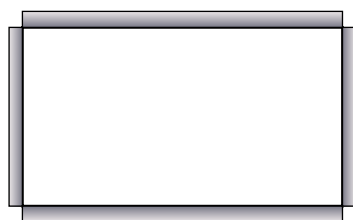


FIGURA 63, Planos de rotura por flexão da alvenaria estrutural devido às forças horizontais

Em princípio nas estruturas em alvenaria as forças verticais estabilizam a estrutura, se a resistência à compressão e a excentricidade das forças verticais, pelas imperfeições do material e da execução, estejam verificadas dentro do estado limite. Outro factor que contribui para a estabilidade das paredes de alvenaria são as paredes perpendiculares laterais ligadas ao pano da parede estrutural, i.e. contraventamento, e as lajes ligadas ao topo ou à base da parede. Estes ligações aumentam a rigidez da parede estrutural, como já mostrado no capítulo 4.1 e Anexo B. Nestes capítulos além da demonstração de verificação de estabilidade foi também mostrado que a verificação é independente de comprimento do vão, se não se considerar o problema da flexão. Pelo contrário a altura da parede tem um papel condicionante a verificação, mas mesmo assim verificou-se que até à altura de 3,50 m no rés-do-chão a parede sustenta as cargas aplicadas e as forças sísmicas.

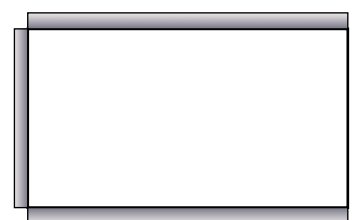
Depois da verificação da estabilidade da estrutura em alvenaria conforme com os Eurocódigos 6 e 8, deve verificar-se o comprimento e a altura da parede em função da sua espessura. De acordo com o EC 6, encontra-se na tabela seguinte os valores limites da altura e do comprimento para as paredes contraventadas com uma espessura de $t = 29$ cm, que corresponde à espessura do bloco cerâmico escolhido anteriormente. Os casos de contraventamento são indicados na FIGURA 61. Considerando que na construção em alvenaria principalmente se trata de paredes contraventadas nos quatro cantos, nota-se na TABELA 78 que para este caso a altura máxima é 8,70 m e o comprimento máximo é de 34,80 m.



a) Parede contraventada nos quatro lados



b) Parede contraventada nos três lados com o lado superior livre



c) Parede contraventada nos três lados com o lado lateral livre

FIGURA 64, Paredes contraventadas em alvenaria estrutural

TABELA 78, Altura limite de paredes em alvenaria estrutural com a espessura de $t=29$ cm, contraventadas conforme com a FIGURA 61

l/t	l	Altura limite, h (m)		
		a)	b)	c)
10	2.90	sem limite	20.30	sem limite
20	5.80	sem limite	20.30	sem limite
30	8.70	20.30	17.40	sem limite
40	11.60	14.50	14.50	17.40
50	14.50	13.78	11.60	16.33
55	15.95	13.41	10.15	15.80
60	17.40	13.05	8.70	14.92
70	20.30	12.33	8.70	13.16
80	23.20	11.60	8.70	11.40
90	26.10	10.88	8.70	9.64
100	29.00	10.15	8.70	7.87
110	31.90	9.43	8.70	6.11
120	34.80	8.70	8.70	4.35

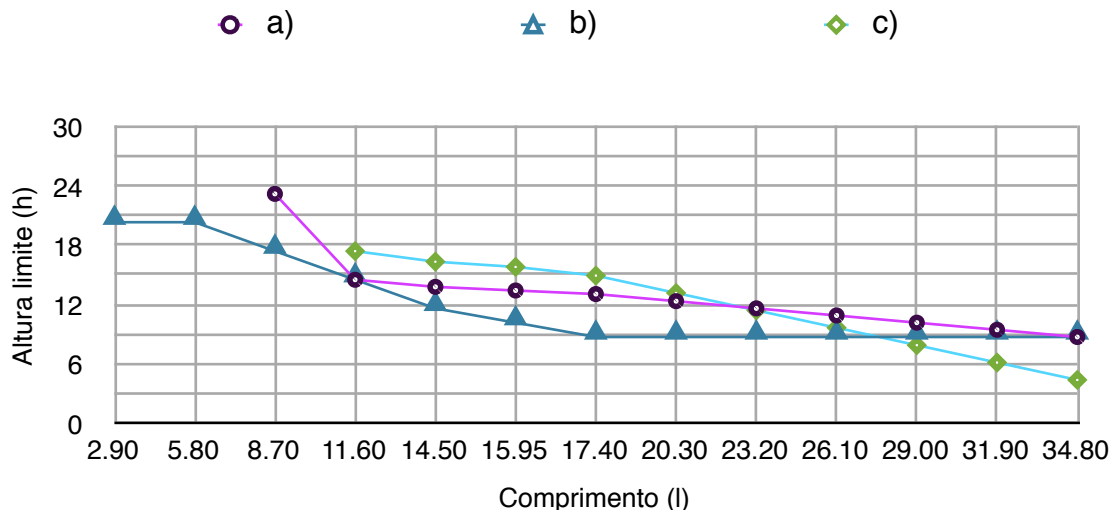


FIGURA 65, Digrama de altura limite h (m) das paredes de alvenaria em função do comprimento para a espessura de 29 cm conforme com a TABELA 78

Uma vez que a altura de 8,70 m não é praticável para os edifícios correntes, decidiu-se analisar separadamente a aplicação da altura e do comprimento máximo da parede de alvenaria nos edifícios de serviços com uma altura de 3,5 m para cada piso e o comprimento de 34,8 m. Em seguida analisaram-se os edifícios industriais para armazenamento ou produção com a utilização da altura e do comprimento máximo possível da parede de alvenaria consoante de largura da parede.

Na análise térmica verifica-se que uma fracção autónoma de um edifício de serviço mantendo a altura e o comprimento pré-definido pode cumprir o regulamento com uma largura de edifício de 12 m. No entanto adoptou-se um edifício modelo com as seguintes dimensões para cada piso: altura 3,5 m, comprimento 34,80 m, largura de edifício 12 m, com 26 janelas de 1,00x1,20 m. Este edifício modelo construído em alvenaria estrutural com o bloco cerâmico mencionado de 29 cm de largura, com uma condutividade térmica de 0,25 W/mK, e 5 cm de isolamento térmico, poliestireno expandido, e reboco interior e exterior satisfaz os requisitos de RCCTE em todas as zonas do País. O estudo de verificação foi feito para três zonas diferentes do país, nomeadamente, a zona de Bragança, Lisboa e Lagos. Estas zonas foram escolhidas baseadas na representação dos climas diferentes do País, Bragança representa uma zona mais extrema com mais graus-dias do clima local, Lisboa representa uma zona de grande actividade de construção com um clima mais moderado e Lagos representa uma zona mais húmida próxima do mar com menos graus-dias do clima local. Em todos os casos as necessidades nominais de energia útil para o aquecimento (N_i) e para o arrefecimento (N_v) estão dentro dos valores limites. A análise foi realizada com o programa informático de fábrica cerâmica de

“PRECERAM” conforme com o Regulamento Térmico, Decreto-Lei nº. 80/2006 de 4 de Abril, (Anexo D).

Com a verificação térmica e de estabilidade, realizadas no capítulo 4.1, e os valores de altura e do comprimento limites da Tabela 78 pode-se concluir que com o bloco cerâmico térmico de 29 cm de largura é possível construir vãos até 34,80 m com uma altura até 3,50 m, (sujeita à verificação da estabilidade). Para estas dimensões parece interessante a sua aplicação nas escolas, clínicas e edifícios públicos, geralmente edifícios que necessitam salas amplas. Em termos de altura de edifício mais uma vez convém seguir a recomendação o conselho do documento de Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Alvenaria Moderna e os Sismos: A Experiência do LNEC, 2007, de limitar a construção em alvenaria estrutural não armada entre máximo de dois a quatro pisos.

O segundo caso para analisar é o aproveitamento da altura e comprimento máximo da alvenaria estrutural nos edifícios industriais. Os edifícios industriais para armazenamento ou produção estão isentos de verificação térmica conforme o artigo 2 nº. 9 alinha b) de Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril. Para a determinação dos valores a utilizar, só os parâmetros estruturais devem ser verificados nos Eurocódigos 6 e 8. Uma vez que se pretende atingir os valores máximos de comprimento e altura com mais estabilidade adapta-se uma espessura maior de alvenaria. Deve também ser considerado que neste tipo de edifícios normalmente só há um piso com uma cobertura ligeira menos rígida. Neste caso, trata-se de um contraventamento em três lados, dois verticais laterais e um horizontal do pavimento. Este facto significa simplesmente uma vulnerabilidade maior da parede. Por estas razões, escolhe-se a alvenaria em pedra para poder fornecer maiores espessuras dos blocos. Por motivos económicos e ambientais decide-se também utilizar a pedra residual, que está neste momento disponível em grandes quantidades nas pedreiras do País sem projectos de reciclagem.

Por exemplo, um projecto de construção de um salão de exposições pode ter uma forma arquitectonicamente legítima com a utilização da pedra residual e servir de exemplo de construção moderna com uma técnica antiga numa zona próxima dos pedreiros, sendo vantajoso para a sociedade como para os pedreiros.

O salão pode ter mais de 2000 m² de área coberta, semelhante com a da análise realizada. A espessura das pedras podem ter 60 cm na parte inferior da parede reduzindo gradualmente até 40 cm no topo. Verifica-se a estabilidade (ver Anexo B) e nota-se conforme a Tabela 79 tem-se os valores máximos de altura e comprimento.

TABELA 79, Altura limite de paredes em alvenaria estrutural com a espessura de $t=60$ cm, contraventadas conforme com a FIGURA 61

l/t	l	Altura limite, h(m)		
		a)	b)	c)
10	6.00	sem limite	42.00	sem limite
20	12.00	sem limite	42.00	sem limite
30	18.00	42.00	36.00	sem limite
40	24.00	30.00	30.00	36.00
50	30.00	28.50	24.00	20.00
55	33.00	27.75	21.00	12.00
60	36.00	27.00	18.00	11.77
70	42.00	25.50	18.00	11.31
80	48.00	24.00	18.00	10.85
90	54.00	22.50	18.00	10.39
100	60.00	21.00	18.00	9.93
110	66.00	19.50	18.00	9.47
120	72.00	18.00	18.00	9.00

Assim, para uma parede em alvenaria de pedra natural e uma espessura de 60 cm com contraventamentos laterais e um contraventamento no pavimento pode-se construir com uma altura máxima de 9 m e o comprimento até 72 m.

Estas dimensões de paredes servem perfeitamente para os edifício industriais e que se podem executar só com a utilização da pedra. Além disso a construção com pedra não é só ambiental e economicamente sustentável para o projecto mas a utilização da pedra natural residual é também um contributo para a reciclagem da pedra residual e a recuperação do ambiente na zona das pedreiras.

Salienta-se ainda mais, utilizando os indicadores do capítulo anterior, pode-se indicar que estes edifícios em alvenaria estrutural reduzem no mínimo a poluição de CO₂ em 13% e o gasto energético na produção dos materiais ou seja a energia incorporada em 17% se comparar com a construção convencional. No caso de utilização da pedra estes valores podem aumentar ainda mais, o que pode ser mais um tema para uma futura investigação. De qualquer forma a construção em alvenaria estrutural é um contributo bastante razoável para o ambiente.

5.4 Durabilidade

A análise de ciclo de vida (ACV) das soluções construtivas dos edifícios é complexa e deve incluir também a manutenção e a utilização dos edifícios. Neste contexto, levanta-se a questão de durabilidade dos materiais de construção utilizados nestas duas soluções construtivas, nomeadamente de betão armado e de blocos cerâmicos e as próprias construções. A Comissão Europeia das Normas publicou em Dezembro 2004 uma guia para a determinação da durabilidade na construção, “*GUIDANCE PAPER F, DURABILITY AND THE CONSTRUCTION PRODUCTS DIRECTIVE*”. Este guia com carácter normativo estabelece a metodologia para a determinação da durabilidade e os métodos aplicáveis.

Em geral, além de estimativas ou conclusões lógicas baseadas na história dos materiais de construção, não se encontra muitas investigações sobre a durabilidade dos materiais de construção. Por exemplo no caso de alvenaria, uma vez que tem uma história muito antiga e ainda se encontram estruturas em alvenaria do tempo dos Romanos em boa conservação, muitas associações e investigadores concluem que a alvenaria, em pedra ou blocos cerâmicos, tem uma durabilidade de centenas de anos. Esta hipótese pode ser correcta, mas existe exemplos contrários de alvenaria com durabilidade insuficiente, sabendo-se que a durabilidade da alvenaria depende da qualidade de fabricação, de produtos auxiliares utilizados, como argamassa, e da exposição aos impactos climáticos e ambientais. Entretanto há muitos outros condicionantes que influenciam a durabilidade da alvenaria.

No caso do betão armado há historicamente pouca experiência, mas observações feitas nos últimos 100 anos e os ensaios no laboratório indicam também que a durabilidade de betão armado depende de vários factores condicionantes de modo similar à alvenaria. Portanto a determinação da durabilidade dos materiais é difícil e merece investigações de longa duração com levantamentos conclusivos, ensaios no laboratórios e análises químicas com a aplicação da nano-tecnologia para poder tirar resultados fiáveis. Neste âmbito salienta-se mais uma vez que foi difícil encontrar publicações, documentos e guias governamentais sobre este assunto.

Os documentos apresentados em seguir são de Alemanha, Suíça e Inglaterra. Estes documentos são elaborados conforme com o “*GUIDANCE PAPER F*”. Os documentos referem-se principalmente aos blocos cerâmicos. Sobre o betão armado parece que existe um consenso internacional sobre a sua durabilidade que se reflecte no documento do governo alemão.

O primeiro documento é de Ministério de Transito, Construção e desenvolvimento Urbano de Alemanha, *BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG*, sobre a vida útil dos materiais de construção, *“LEBENSDAUER VON BAUTEILEN UND BAUTEILSCHICHTEN”*, de Janeiro de 2009. Neste documento considera-se para o betão armado e o bloco cerâmico, ambos bem preservados, uma igual durabilidade média de 120 anos.

Adrian Bown, da *Leeds Metropolitan University, Inglaterra*, publicou recentemente um documento sobre a durabilidade dos blocos cerâmicos, intitulado *“Whole Life Performance of Clay Masonry Brickwork”* em 2008. Ele analisou 860 casas de blocos cerâmicos na construção tradicional com um máximo até três pisos e concluiu que a durabilidade pode chegar até aos 500 anos. Nesta análise chegou à conclusão que em circunstâncias favoráveis, boa preservação, a vida útil pode ser prolongada para além dos 650 anos.

O último documento é de uma empresa suíça, SWISSBAUCO, que trata o controlo e a peritagem na construção civil a nível nacional e internacional. O documento desta empresa intitula-se *“Lebensdauer Bauteile und Bauteilschichten”* de 2009, “vida útil dos materiais de construção”. O documento é similar ao documento da Alemanha e estipula também uma durabilidade média de 120 anos para o betão armado como também para o bloco cerâmico nas circunstâncias de boa preservação.

Salienta-se que no âmbito deste estudo os edifícios em análise estão todos considerados, de acordo com a lei aplicável, com isolamento térmico no exterior. Este facto implica uma boa conservação dos materiais utilizados nas paredes exteriores seja em betão armado ou alvenaria estrutural. Sendo assim e focando mais no documento do governo alemão, pode-se concluir que no aspecto de durabilidade as duas soluções construtivas tem a mesma vida útil.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Os objectivos essenciais deste estudo são estabelecer critérios de projecto que visem a redução do impacto ambiental, através da optimização da escolha do material e do processo de construção. A escolha da alvenaria estrutural está ligada intimamente às suas características ambientais, facilidade de execução, os custos, o efeito na macroeconomia bem como a sua vida útil. Os resultados obtidos neste estudo propõem as seguintes principais conclusões:

1. Respeitando os Eurocódigos respectivos, bem como, as boas normas de construção, verificou-se que é possível a construção em alvenaria estrutural sem armadura até seis pisos de edifícios correntes de habitação numa zona sísmica como Portugal.
2. Verificou-se uma redução da massa do edifício em alvenaria estrutural de 12,7% em comparação com a construção convencional.
3. Definiram-se unidades funcionais constituídas por paredes exteriores e interiores, bem como, o edifício modelo de habitação de 6 pisos para a avaliação dos impactos ambientais e económicos. Este procedimento mostrou-se eficaz para a comparação das duas alternativas construtivas.
4. A avaliação ambiental das unidades funcionais e do edifício modelo mostrou que a construção em alvenaria estrutural tem vantagens na redução de emissões de CO₂ de 17,5% e de energia incorporada de 18,7% em comparação com a construção convencional. A vantagem principal deve-se à redução de utilização do aço na alvenaria estrutural de 26,6% e no transporte do mesmo.
5. Para construções semelhante ao edifício modelo os resultados são válidos e podem promover a construção em alvenaria estrutural.
6. A avaliação orçamental de unidades funcionais e do edifício modelo indicou que a alvenaria estrutural tem 13,6% menos custos no consumo do material de construção e na mão de obra utilizada.
7. O planeamento e a gestão do edifício modelo demonstrou que a execução da construção em alvenaria estrutural pode ter uma duração mais curta com uma maior utilização de recursos humanos, enquanto na construção convencional esta optimização não é possível devido ao tempo gasto na cura do betão.
8. A análise económica mostrou que a construção convencional contribui mais

para o Produto Interno Nacional, devido ao maior investimento. Por outro lado, a alvenaria estrutural pode contribuir para a redução de importações de aço e de consumo de energia o que é favorável para a economia nacional.

- a. Parece que esta metodologia deve ser utilizada quando se trata de comparação de vários materiais ou processos construtivos para avaliar o seu impacto na macroeconomia do País.
 - b. Até à data unicamente os custos resultantes de processos de construção são considerados. Ora o impacto na macroeconomia do País parece uma via a explorar mais nos futuros estudos.
9. Em termos sociais a utilização de alvenaria estrutural pode criar mais empregos. Num cenário de poder usar 50% das construções de habitação em alvenaria estrutural demonstra a possibilidade de criar, embora uma contribuição modesta, mais 591.576 horas de trabalho por ano ou seja 283 postos de trabalho.
 10. Foram desenvolvidos seis configurações a partir de uma configuração inicial base com áreas que variam entre os 167,62 m² até 655,16 m².
 11. As seis configurações mostraram as relações da área de construção, da área útil, da quantidade de pilares e paredes exteriores/interiores na geometria e na quantidade do material de construção entre si.
 12. A avaliação ambiental pormenorizada dos seis edifícios modelo indicou que a construção em alvenaria estrutural:
 - a. possibilita uma redução de 11 a 17% de consumo de energia e de 6% nas emissões de CO₂ dependente da relação parede exterior e interior.
 - b. mostrou que estas percentagens realizam-se quando o rácio parede exterior/interior é superior de 3,4.
 - c. mostrou que há uma redução de emissão de CO₂ e de energia incorporada por m² de construção, à medida que a área da construção aumenta. Esta redução também é válida para a construção convencional. Apresentou-se a possibilidade de utilizar os resíduos de pedreiras existentes a fim de construir edifícios industriais, armazéns ou de utilidade pública utilizando a tecnologia de construção em alvenaria.
 13. Em termos de durabilidade conclui-se que assegurando uma boa manutenção da construção convencional e da alvenaria estrutural ambos as soluções terão uma vida útil de pelo menos 120 anos.

TRABALHOS FUTUROS

Propõe-se a continuação do presente estudo nas seguintes vertentes:

1. Considerar mais parâmetros ambientais para além das duas consideradas. Ora outros parâmetros podem-se vir a revelar importantes para uma avaliação mais completa e em condições ambientais mais específicas.
2. A opção de alvenaria estrutural poderá ser analisada considerando blocos de betão. A utilização deste material e a sua avaliação ambiental, económico e social poderá abrir novos horizontes.
3. Analisar a sustentabilidade ambiental, económica e social na utilização de lajes aligeiradas com blocos cerâmicos.
4. Estudar o aumento de eco-eficiência das construções utilizando as configurações estabelecidos neste estudo, desenvolver e otimizar para outras configurações.

7. Bibliografia

Bibliografia geral

Ecologia

Bjorn Berge, Ecologia dos Materiais de Construção, Volume I, Tradução e adaptação, Said Jalali, Marcelo F. da Eira, Nelson J.A., Universidade do Minho, Guimarães, 2007

United Nations, Report of the World Commission on Environment and Development, General Assembly Resolution 42/187, 11 December 1987. Retrieved: 2007-04-12

Sustentabilidade

2005 World Summit Outcome Document, World Health Organization, 15 September 2005

Alves, S, de Sousa, H, Single-leaf masonry buildings enclosures in Portugal. A methodology for its behaviour analysis, XXX IAHS WORLD CONGRESS ON HOUSING, HOUSING CONSTRUCTION: AN INTERDISCIPLINARY TASK, VOLS 1-3 : 1361-1368, 2002

Building Research Establishment (BRE), Methodology for Environmental Profiles of Construction Products, BRE, Reino Unido, August 2007

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG, Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten, Alemanha, Janeiro de 2009.

Cabral, Maria Inês Mendes Rodrigues de Macedo, A Certificação Ambiental de Edifícios em Portugal: O caso de reabilitação da arquitectura vernácula em áreas protegidas, Tese de Doutoramento, Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Março 2009

Davis, Staycy C.; Diegel, Susan W.; Boundy Robert G.; Transportation Energy Data Book, Edition 29, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Estados Unidos de America, Julho 2010

Department for Communities and Local Government, UK, Code for Sustainable Homes, Technical Guide, Version 2, Reino Unido, Maio 2009

Egas, Leonardo, Análise pluridimensional da sustentabilidade do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em madeira de Pínus. Caso: Assentamento rural Pirituba II., Tese de Doutoramento, Universidade São Paulo, São Carlos, 2008

Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável, Resolução do Conselho de Ministros n.º 109/2007, Diário da República, 1.ª série - N.º 159 - 20 de Agosto de 2007

Ferreira, José Vicente Rodrigues, Análise de Ciclo de Vida dos Produtos, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, 2004

Electricidade de Portugal EDP, Guia Prático de Eficiência Energética, Lisboa, 2005

European Commission, Enterprise and Industry Directorate-General, Guidance Paper F, Durability and the Construction Products Directive, Bruxelas, Dezembro 2004

Hammond, Geoff; Jones, Craig; Inventory of Carbon & Energy (ICE), Version 1.6a; University of Bath, Reino Unido, 2008

Hasna, A. M., Dimensions of sustainability, Journal of Engineering for Sustainable Development: Energy, Environment, and Health 2 (1): 47–57, Estados Unidos de America, 2007

Instituto Nacional de Estatística, http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_princindic, Lisboa, 23 de Agosto de 2010

Instituto Nacional de Estatística, Estatísticas de Produção Industrial 2009, Edição 2010, Lisboa, 2010

Lipsmeier, Klaus; Günther, Marko; Jalali, Said; Pereira, Luís H., Manual europeu de resíduos da construção de edifícios, Universidade do Minho, Guimarães, 2005

Lourenço, Paulo B.; Oliveira, Daniel V., Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico, Universidade do Minho, Guimarães, 2004

Mateus, Ricardo, Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção, Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, 2004

Mendonça, Paulo Jorge Figueira de Almeida Urbano de, Habitar Sob Uma Segunda Pele, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, 2005

Pereira, L.; Jalali, Said; Aguiar, J. L. Barroso de, Gestão de resíduos de construção e demolição, Universidade do Minho, Guimarães, 2004

Torgal, Fernando Pacheco; Jalali, Said, Tendências para a sustentabilidade dos materiais de construção, Universidade do Minho, Guimarães, 2008

Bibliografia específica

Estrutura, Alvenaria

Adrian Bown, Whole Life Performance of Clay Masonry Brickwork, Leeds Metropolitan University, Reino Unido, 2008.

Amadio, C.; Rajgelj, S., Shear Behavior of Brick-mortar Joints, J. Brit. Masonry International 5, (1), 19, 1991

Cardoso, Rafael; Lopes, Maria; Bento, Rita, Edifícios de alvenaria de Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Arquitectura, Lisboa, 2005

Da Silva, J. Mendes & Abrantes, Vítor, Patologia em Paredes de Alvenaria: Causas e Soluções, Seminário sobre Alvenaria, P.B.Lourenço et al.(eds.), 2007

Decreto-Lei nº 235/83 de 31 de Maio, Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, Diário da República, 31 de Maio de 1983, I Série - Número 125, página 1991, Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa, 1983

Decreto-Lei nº 349-C/83 de 30 de Julho, Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado, Diário da República, 30 de Julho de 1983, I Série - Número 174, página 2831, Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa, 1983

Eladio Dieste, 1943-1996, Consejería de Obras Públicas y Transportes e Métodos de Cálculo, ISBN 84-8095-36-2, Junta de Andalucía, Espanha, 2006

Eurocódigo 2, Projecto de estruturas de betão, European Committee for Standardization, CEN, Brussels, 2004

Eurocódigo 6, Design of Masonry structures, European Committee for Standardization, CEN, Brussels, 2005

Eurocódigo, 8, Disposições para projectos de estruturas sismo-resistentes, European Committee for Standardization, CEN, Brussels, 2004

Fonseca, Giselle Moraes da; Lourenço, Paulo B.; Silva, Roberto Márcio da, Aspectos relativos à contribuição dos painéis de alvenaria em edifícios altos, Universidade do Minho, Guimarães, Dez-1997

Freitas, Ana Cristina de e Brito, Jorge de, Melhorar o desempenho das construções em alvenaria de pedra, Universidade do Minho, Guimarães, 2002

Gouveia, J.; Lourenço, Paulo B., Avaliação do comportamento de paredes de alvenaria com blocos de betão leve, Universidade do Minho, Guimarães, 2006

- Gouveia, J.; Lourenço, Paulo B., O Eurocódigo 6 e o dimensionamento de estruturas de alvenaria, Universidade do Minho, Guimarães, 2006
- Gouveia, J.; Melo, Fontes de; Lourenço, Paulo B., Alvenaria estrutural: aplicação a um caso de estudo, Universidade do Minho, Guimarães, 2006
- Henriques, J. Pina, Masonry under compression: failure analysis and long-term effects, Universidade do Minho, Guimarães, 2005
- Lança, Pedro Daniel Neto, Análise estrutural de abóbadas poli-nervuradas : aplicação ao coro alto ao Mosteiro dos Jerónimos, Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 13-Nov-2006
- Lemos, J. V., Segurança de arcos de alvenaria, IV Encontro Nacional de Mecânica Computacional, vol. 1, pp. 91-99, Modelação e Avaliação Estrutural de Pontes em Arco de Alvenaria 242, Lisboa, 1995
- Lemos, J. V., Assessment of the ultimate load of a masonry arch using discrete elements, Computer Methods in Structural Masonry – 3, Books & Journals International (Eds. J. Middleton and G. N. Pande), pp. 294-302, Swansea, Reino Unido, 1996
- Lemos, J. V., Seismic modelling of the molumn-architrave structure of the Parthenon, Report 249/96 – NDE/NEE, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1996
- Lemos, J. V., Discrete Element Modelling of the Seismic Behaviour of Stone Masonry Arches, Computer Methods in Structural Masonry – 4, (Eds. G. N. Pande, J. Middleton e B. Kralj), pp. 220-227, E&FN Spon, 1997
- Lemos, J. V., Análise da rotura de um arco de alvenaria pelo método dos elementos discretos, Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, n.º 41, pp. 9-13, 1997
- Lemos, J. V., Schiappa de Azevedo, F., Oliveira, C. S. e Sincaian, G. E. (1998), Three-Dimensional Analysis of a Block Masonry Pillar using Discrete Elements, Proc. Monument-98 Workshop on Seismic Performance of Monuments, pp. 117-126, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Lemos, J. V., “Análise modal de estruturas antigas com modelos de blocos rígidos”, Congresso Nacional: VII Congresso de Mecânica Aplicada e Computacional, vol. 1, pp. 1-8, Universidade de Évora, Évora, 2003
- Lemos, J. V., Modeling of Historical Masonry with Discrete Elements, Computational Mechanics – Solids, Structures and Coupled Problems, (Eds. C. A. Mota Soares, J. A. C. Martins, H. C. Rodrigues e J. A.C. Ambrósio), pp. 375-391, Lisboa, 2006

LNEC, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Desenvolvimento de novos blocos para alvenaria, Lisboa, 1989

LNEC, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Ema Coelho, Paulo Candeias, Alvenaria Moderna e os Sismos: A Experiência do LNEC, Lisboa, 2007

LNEC, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Documentação normativa: tijolos de barro vermelho para alvenaria: tijolos “duplex”: características e recepção, Lisboa, 1975

LNEC, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Documentação normativa: tijolos de barro vermelho para alvenaria: formato, Lisboa, 1965

Lourenço, Paulo B., Alvenaria : passado e presente, Universidade do Minho, Guimarães, 2005

Lourenço, Paulo B., Paredes de alvenaria armada (I): possibilidades e aplicações, Universidade do Minho, Guimarães, 2006

Lourenço, Paulo B., Paredes de alvenaria armada (II) : o problema sísmico, Universidade do Minho, Guimarães, 2006

Lourenço, Paulo B.; Pagaimo, Filipe; Júlio, Eduardo, Caracterização das paredes de alvenaria da vila de Tentúgal, Universidade do Minho, Guimarães, 2005

Lourenço, P. B.; Rots, J. G., Blauwendraad, J., Two Approches for the Analysis of Masonry Structures: Micro- and Macro-modeling, Heron, Vol. 40 No. 4, pp. 313-340, 1995

Luso, Eduarda Cristina Pires; Lourenço, Paulo B.; Almeida, Manuela Guedes de, Centro histórico de Bragança: caracterização do edificado, aspectos arquitectónicos e anomalias, Universidade do Minho, Guimarães, 2004

Mohamad, Gihad; Lourenço, Paulo B.; Roman, Humberto R., Ensaio de compressão em prismas de bloco de concreto-deformabilidade e modo de ruptura, Universidade do Minho, Guimarães, 2006

Morais, António José, Abordagem formal dos sistemas estruturais e sua conexão com a arquitectura: Proposta de um novo processo construtivo, Tese de Doutoramento, Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1995

Norma Portuguesa ENV 1998-1-1, Eurocódigo 8: Disposições para projecto de estruturas sismo-resistentes, Parte 1-1: Regras gerais - Acções sísmicas e requisitos gerais para as estruturas, incluindo Documento Nacional de Aplicação (DNA), Instituto Português de Qualidade, Lisboa, 2000

Ochsendorf, J., Block, P. "Designing unreinforced masonry," Form and Forces: Designing Efficient, Expressive Structures, Chapter 8, by E. Allen and W. Zalewski (Eds.), John Wiley and Sons, 2009

Oliveira, Daniel V., Experimental and numerical analysis of blocky masonry structures under cyclic loading, Universidade de Minho, 2003

Oliveira, Daniel V.; Lourenço, Paulo B.; Silva, Rui André Martins da, Comportamento experimental de paredes de alvenaria de panos múltiplos, Universidade do Minho, Guimarães, 2006

Oliveira, Juliana T.; Barros, Joaquim A. O.; Bonaldo, Everaldo; Lourenço, Paulo B., Comportamento à flexão de painéis representativos de um novo sistema construtivo em alvenaria armada, Universidade do Minho, Guimarães, 2004

Oliveira, Juliana T.; Bonaldo, Everaldo; Barros, Joaquim A. O.; Lourenço, Paulo B., Cascas em alvenaria cerâmica armada: uma forma pré-fabricada de se construir, Universidade do Minho, Guimarães, 2005

Oliveira, Juliana T.; Silva, Roberto Márcio da; Alvarenga, Rita de Cássia S. S.; Lourenço, Paulo B., Estudo de pórticos metálicos enrijecidos com alvenaria, Universidade do Minho, Guimarães, Maio-2002

Pereira, Manuel Fernando Paulo; Aguiar, J. L. Barroso de, Fissuração de paredes : reabilitação de alvenaria de tijolo, Universidade de Minho, 2005

Ramos, Luís F., Análise experimental e numérica de estruturas históricas de alvenaria, Universidade de Minho, 2002

Roque, João C. Almendra; Lourenço, Paulo B., Caracterização mecânica de paredes antigas de alvenaria: um caso de estudo no centro histórico de Bragança, Universidade do Minho, Guimarães, Mai-2003

Sahlin, Sven; Structural Masonry, Prentice-Hall, Inc.; Englewood Cliffs, New Jersey; 1971

Silva, Fernando Artur Nogueira; Oliveira, Romilde Almeida de; Lourenço, Paulo B., Considerações sobre a distribuição de forças cortantes em paredes de contraventamento de alvenaria estrutural dotadas de aberturas, Universidade do Minho, Guimarães, 2004

Taly, Narendra; Design of Reinforced Masonry Structures, McGraw-Hill, 2000

Vasconcelos, Graça; Lourenço, Paulo B.; Análise experimental do comportamento de paredes de alvenaria de pedra não reforçada sob acções cíclicas no plano, Universidade do Minho, Guimarães, 2004

Vasconcelos, Graça; Lourenço, Paulo B.; Comportamento sísmico de paredes de alvenaria de pedra, Universidade do Minho, Guimarães, Abr-2006

Argamassas

Botelho, Patrícia Cláudia Nunes Ferreira, Argamassas Tradicionais em Suportes de Alvenaria Antiga – Comportamento em Termos de Aderência e Durabilidade, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Abril 2003

Mendonça, Bruno de Viveiros, Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas, Influência do Ligante, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Novembro 2007

Térmica

Aelenei, Laura Elena, Thermal performance of naturally ventilated cavity walls, Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2006

Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Diário da República, 6 de Fevereiro de 1990, I Série - Número 31, página 490, Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa, 1990

Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Diário da República, 4 de Abril de 2006, I Série-A - Número 67, página 2468, Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa, 2006

Oliveira, Marta João Nunes, Avaliação do comportamento térmico de habitações urbanas na cidade de Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2002

Acustica

Bachmann, Maria da Graça Xavier da Fonseca e Costa, Paredes exteriores no contexto arquitectónico, Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Arquitectura, Lisboa, 1993

Decreto-Lei 96/2008 de 9 de Junho e o Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio, que aprovou o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), Diário de República, 9 de Junho de 2008, 1.^a série – N.º110, página 3359, Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa, 2008

Silva, P. Martins da, Projecto de condicionamento acústico de edifícios / Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2006

Willems, Wolfgang M., Schild, Kai, Dinter, Simone, Handbuch Bauphysik 1, Vieweg, 2006

Economia

Almeida, Álvaro, Economia Aplicada para Gestores, Cadernos IESF, pág. 63 e 64, 2007

Blanchard Oliver, Macroeconomics, 3. Edição, Prentice Hall International, London, 2003

José da Paz Branco, Rendimentos de Mão-de-Obra, Materiais e Equipamentos de Construção Civil (Tabelas), Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1983

Mitchell, W.F.; The Buffer Stock Employment Model - Full Employment without a NAIRU, Journal of Economic Issues 32(2), 547-55, 1998

Mitchell, W.F.; Muysken, J.; (2008), Full Employment Abandoned: Shifting Sands and Policy failures, Edward Elgar: Cheltenham. Revised: January 2009

Mosler, W.B.; (1997-98) Full Employment and Price Stability, Journal of Post Keynesian Economics, 20(2), 167-182, (1997-1998)

Turner, Dave; Boon, Laurence; Giorno, Claude; Meacci, Mara; Rae, Dave; Richardson, Pete; Estimating the Structural rate of Unemployment for the OECD Countries. OECD Economic Studies (Organisation for Economic Co-operation and Development) (No. 33): 171-216. Retrieved 16 July 2007

Wray, R.; Understanding Modern Money: The Key to Full Employment and Price Stability, Edward Elgar: Northampton, MA, 1998

ANEXO A

INSTITUIÇÕES

ASSOCIAÇÕES

BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN ZIEGELINDUSTRIE E.V., ALEMANHA

CENTRO DE TECNOLOGIA DE CERÂMICA E VIDRO, PORTUGAL

CLAY ROOFING TILE COUNCIL, REINO UNIDO

FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES FABRICANTS DE TUILES ET DE BRIQUES (TBE),
BÉLGICA

THE BRICK DEVELOPMENT ASSOCIATION, REINO UNIDO

THE BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, EUA

THE EUROPEAN CERAMICS INDUSTRIES, BÉLGICA

VERBAND ÖSTERREICHISCHER ZIEGELWERKE WIENERBERG, ÁUSTRIA

VERBAND SCHWEIZERISCHE ZIEGELINDUSTRIE – VSZ, SUIÇA

UK BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE), BUILDING RESEARCH
ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD (BREEAM),
REINO UNIDO

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, THE LEADERSHIP IN ENERGY AND
ENVIRONMENTAL DESIGN (LEED), EUA

INSTITUIÇÕES ACADÉMICAS:

COLLEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA, ESPANHA

FACULDADE DE ARQUITECTURA DE UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

FRAUNHOFER INSTITUT, ALEMANHA

GEOPOLYMER INSTITUTE, FRANÇA

GRUPO DE INVESTIGAÇÃO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, UNIVERSIDADE DE
MINHO, PROF. SAID JALALI, GUIMARÃES

INSTITUT CERDÁ, ESPANHA

INSTITUTO JUAN DE HERRERA, ESPANHA

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, DEP. DE ENG. MECÂNICA, PROF. PAULO
FERRÃO, LISBOA

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, LISBOA

ESCOLA DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE DE MINHO, PROF. PAULO LOURENÇO,
GUIMARÃES

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MASONRY GROUP, PROF. J.
OCHSENDORF, EUA

UNIVERSIDADE BATH, REINO UNIDO

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

INSTITUIÇÕES GOVERNAMENTAIS E NÃO-GOVERNAMENTAIS:

EUROPEAN COMMISSION ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT, BRUXELAS,
BÉLGICA

UN DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, DIVISION FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT, NOVA IORQUE, EUA

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM, NOVA IORQUE, EUA

ANEXO B

1. ANÁLISE ESTRUTURAL DE EDIFÍCIO MODELO EM ALVENARIA (BLOCO CERÂMICO)

CARGAS VERTICAIS

Cargas permanentes	kN/m²	Factores de Segurança		
Laje	3.00	Acção permanente $\gamma = 1.35$		
Revestimento	1.00	Acção variável $\gamma = 1.50$		
Soma	4.00			
		γ	Carga	q (kN/m²)
Cargas variáveis		1.35	4.00	5.40
Sobrecarga	3.00	1.50	3.00	4.50
		Carga vertical final		9.90

Sendo assim todos os pavimentos e a cobertura tem uma carga vertical de 9.90 kN / m².

Quantificação de peso das paredes e de cobertura por m²

$p_k = \rho \cdot t$ - considerando o factor de segurança: $p_d = p_k \times \gamma$

onde

p_k = peso por unidade da parede

ρ = peso específico

t = espessura da parede

para paredes a) interiores divisórias, b) exteriores

a) $t = 0.115$ m: $p_k = 19 \text{ kN/m}^3 \times 0.115 \text{ m} \times 1.35 = \mathbf{2.95 \text{ kN/m}^2}$

b) $t = 0.290$ m: $p_k = 13 \text{ kN/m}^3 \times 0.290 \text{ m} \times 1.35 = \mathbf{5.09 \text{ kN/m}^2}$

Cobertura: $p_k = 4.77 \text{ kN/m}^2 \times 1.35 = \mathbf{6.44 \text{ kN/m}^2}$

(carga de laje + revestimento de cobertura = 4.77 kN/m²)

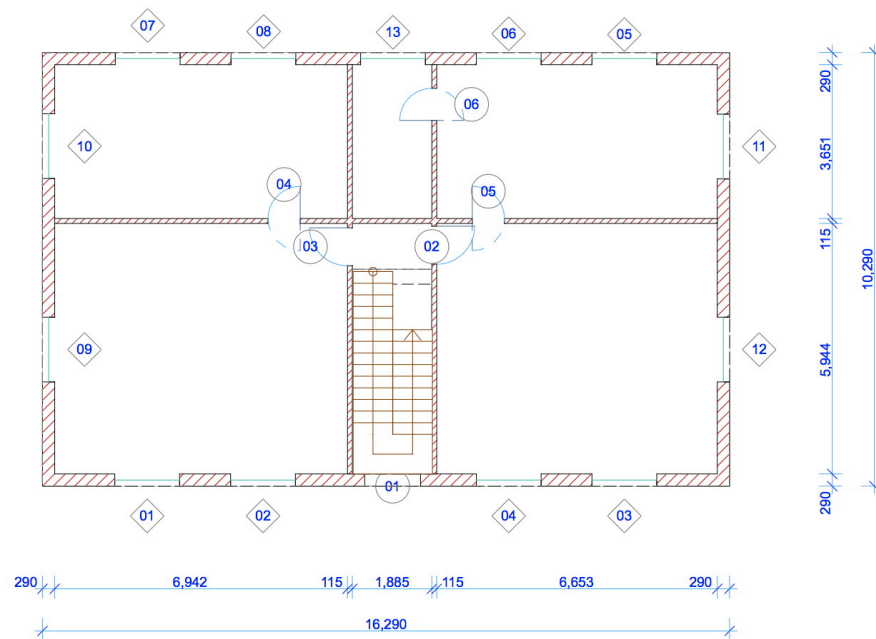


FIGURA B-1: Planta R/Chão

Determinação de Momento

$$M_{T1} = -qL_2^2 \times 0.219 = -9.9 \frac{kN}{m^2} \times 4^2 m^2 \times 0.219 = 34.69 kNm/m$$

Tabelas Técnicas, 1996, p. 390, 9.3.6.1

Determinação de Esforço Transverso

Tramo 1

$$V_1 = 0.604 \times 9.9 \times 4.0 = 23.92 \text{ kN/m}$$

$$V_2 = 0.896 \times 9.9 \times 4.0 = 35.48 \text{ kN/m}$$

Tramo 2

$$V_2 = 0.719 \times 9.9 \times 4.0 = 28.47 \text{ kN/m}$$

$$V_3 = 0.281 \times 9.9 \times 4.0 = 11.13 \text{ kN/m}$$

Peso das Paredes e Tectos incluindo o factor de segurança 1.35

Parede A

Tectos	$P = 6.44 \text{ kN/m}^2 \times 3.00 \text{ m}$	$= 19.32 \text{ kN/m}$
Piso 5:	$P = 5.09 \text{ kN/m}^2 \times 4.20 \text{ m}$	$= 21.38 \text{ kN/m}$
Piso 4, 3, 2, 1:	$P = 5.09 \text{ kN/m}^2 \times 2.70 \text{ m}$	$= 13.74 \text{ kN/m}$
Piso 0:	$P = 5.09 \text{ kN/m}^2 \times 2.00 \text{ m}$	$= 10.18 \text{ kN/m}$

Parede B

Tectos	$P = 6.44 \text{ kN/m}^2 \times 5.00 \text{ m}$	$= 32.20 \text{ kN/m}$
Piso 5:	$P = 2.95 \text{ kN/m}^2 \times 2.70 \text{ m}$	$= 7.97 \text{ kN/m}$
Piso 4, 3, 2, 1:	$P = 2.95 \text{ kN/m}^2 \times 2.70 \text{ m}$	$= 7.97 \text{ kN/m}$
Piso 0:	$P = 2.95 \text{ kN/m}^2 \times 3.50 \text{ m}$	$= 10.33 \text{ kN/m}$

Parede C

Tectos	$P = 6.44 \text{ kN/m}^2 \times 2.00 \text{ m}$	$= 12.88 \text{ kN/m}$
Piso 5:	$P = 5.09 \text{ kN/m}^2 \times 2.70 \text{ m}$	$= 13.74 \text{ kN/m}$
Piso 4, 3, 2, 1:	$P = 5.09 \text{ kN/m}^2 \times 2.70 \text{ m}$	$= 13.74 \text{ kN/m}$
Piso 0:	$P = 5.09 \text{ kN/m}^2 \times 3.50 \text{ m}$	$= 17.82 \text{ kN/m}$

Tabela B-1, Quantificação dos pesos por piso (kN/m)

PISOS	PARADE A	PARADE B	PARADE C
COBERTURA	19.32	32.20	12.88
Nó 5	21.38	7.97	13.74
Superior	40.70	40.17	26.62
Laje	19.32	32.20	12.88
Inferior	60.02	72.37	39.50
Nó 4	13.74	7.97	13.74
Superior	73.76	80.34	53.24
Laje	19.32	32.20	12.88
Inferior	93.08	112.54	66.12
Nó 3	13.74	7.97	13.74
Superior	106.82	120.51	79.86
Laje	19.32	32.20	12.88
Inferior	126.14	152.71	92.74
Nó 2	13.74	7.97	13.74
Superior	139.88	160.68	106.48
Laje	19.32	32.20	12.88
Inferior	159.20	192.88	119.36
Nó 1	13.74	7.97	13.74
Superior	172.94	200.85	133.10
Laje	19.32	32.20	12.88
Inferior	192.26	233.05	145.98
Nó 0	10.18	10.33	17.82
Superior	202.44	243.38	163.80

Propriedades

Tijolo térmico

Resistência à compressão: $f_K = K \times f_b^{0.7} \times f_m^{0.3} = 5.14 \text{ N/mm}^2$, EC6 3.6.1.2.(2), (3.2)

onde

$K = 0.7 \times 0.8$ para tijolo de grupo 2b

$f_b = 10 \text{ N/mm}^2$

$f_m = 7.5 \text{ N/mm}^2$

Factor de segurança pela fábrica e EC6 tabela 2.3: $\gamma_M = 2.7$

Resistência final à compressão: $f_d = f_K / \gamma_M = 1.90 \text{ N/mm}^2$

Tijolo clinquer

Resistência à compressão:

$$f_K = K \times f_b^{0.7} \times f_m^{0.3} = 14.72 \text{ N/mm}^2, \text{ EC6 3.6.1.2.(2), (3.2)}$$

onde

$K = 0.7 \times 0.8$ para tijolo de grupo 2b

$f_b = 45 \text{ N/mm}^2$

$f_m = 7.5 \text{ N/mm}^2$

Factor de segurança pela fábrica e EC6 tabela 2.3: $\gamma_M = 2.7$

Resistência final à compressão: $f_d = f_K / \gamma_M = 5.45 \text{ N/mm}^2$

Determinação de rigidez

Módulo de rigidez (EI) de laje (por metro)

$EI = 64241 \text{ kN m}^2/\text{m}$

Módulo de Elasticidade de tijolo, EC6 3.7.2 (2)

tijolo térmico: $E = 1000 \times f_K = 5.14 \text{ kN/mm}^2$

tijolo clinquer: $E = 1000 \times f_K = 14.72 \text{ kN/mm}^2$

Momento de Inércia: $I = 1000 \times h^3/12$ (por metro da parede)

Tabela B-2, Cálculo de Módulo de Rigidez das paredes

Envoltente	E (kN/mm ²)	I (10 ⁶ mm ⁴)	E x I (10 ⁶ kN.mm ²)
Parede A e C	5.14	2032.4	10446.536
Parede B	14.72	126.7	1865.024

Vãos livres

Tramo 1: 6.0 m - 0.290/2 m - 0.115/2 m = 5.80 m

Tramo 2: 4.0 m - 0.290/2 m - 0.115/2 m = 3.80 m

Cálculo de factor K, rigidez relativa, segundo o Anexo C de EC6

Para os tectos $K = \frac{nE_T I_T}{L_{LIVRE}}$, n=4 todas as barras admitem momentos em ambas

extremidades.

Tramo 1: $K = 44.30 \cdot 10^3$ kNm/m em todos os pisosTramo 2: $K = 67.62 \cdot 10^3$ kNm/m em todos os pisos

Para as paredes $K = \frac{nE_P I_P}{H_{LIVRE}}$, n=4 todas as barras admitem momentos em ambas

extremidades.

Tabela B-3, Valores de K para as paredes em 10³ kNm/m

	PAREDE A		PAREDE B		PAREDE C	
n	4		4		4	
E _p I _p	10446.536		1865.024		10446.536	
	H _{LIVRE}	K	H _{LIVRE}	K	H _{LIVRE}	K
PISO 5	4.20	9.95	2.70	2.76	2.70	15.48
PISO 4	2.70	15.48	2.70	2.76	2.70	15.48
PISO 3	2.70	15.48	2.70	2.76	2.70	15.48
PISO 2	2.70	15.48	2.70	2.76	2.70	15.48
PISO 1	2.70	15.48	2.70	2.76	2.70	15.48
PISO 0	2.00	20.89	3.50	2.13	3.50	11.94

CÁLCULO DA EXCENTRICIDADE DAS FORÇAS, método simplificado (Anexo C de EC6)

1. Para o nó interior o momento tem o valor seguinte:

$$M_1 = \frac{n_1 E_1 I_1 / H_1}{n_1 E_1 I_1 / H_1 + n_2 E_2 I_2 / H_2 + n_3 E_3 I_3 / L_3 + n_4 E_4 I_4 / L_4} \left(\frac{q_3 L_3^2}{12} - \frac{q_4 L_4^2}{12} \right)$$

onde:

- n_i factor de rigidez, $n=4$ para envoltentes que estão apoiadas nos dois lados, caso contrario $n=3$
 E_i módulo de elasticidade da envoltente i , $i = 1, 2, 3$ ou 4
 I_i momento de inércia da envoltente i , $i = 1, 2, 3$ ou 4
 H_i altura da envoltente i , $i = 1$ ou 2
 L_i vão da envoltente i , $i = 3$ ou 4
 q_i carga distribuída da envoltente i , $i = 3$ ou 4

2. Para o nó extremo se a tensão é superior a 0.25 N/mm^2 calcula-se pelo coeficiente de redução da espessura:

$$\left(1 - \frac{k}{4}\right) \quad \text{onde } k = \frac{E_3 I_3 / L_3 + E_4 I_4 / L_4}{E_1 I_1 / H_1 + E_2 I_2 / H_2} < 2 ;$$

no caso contrário, aplica-se o parágrafo 6.1.2 do EC6

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \phi t f_d ; \quad \phi = 1 - 2 \frac{e}{t}$$

onde

- N_{Ed} Força vertical existente
 N_{Rd} Força vertical admissível
 ϕ Factor de redução

$$e = \frac{M}{N} \geq 0.05t ; \quad M_{SUPERIOR} = N_{SUPERIOR} \frac{t}{4} ; \quad M_{INFERIOR} = N_{INFERIOR} \frac{t}{4}$$

3. Para nó extremo de fundação: $M_{inferior} = M_{superior} / 2$

Nó A-Cobertura

$$19.32 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.07 \text{ kN/mm}^2 < 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$c = 19.32 / 1.9 = 10 \text{ mm} < 0.2t = 58 \text{ mm}$$

$$\text{excentricidade } e = t/2 - c/2 = 145 - 5 = 140 \text{ mm}$$

$$\text{Momento flector } M_1 = e \times N = 0.140 \times 19.32 = 2.70 \text{ kNm/m}$$

Nó A-5

SUPERIOR

$$40.70 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.14 \text{ kN/mm}^2 < 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$c = 40.70 / 1.9 = 21 \text{ mm} < 0.2t = 58 \text{ mm}$$

$$\text{excentricidade } e = t/2 - 50 - c/2 = 145 - 50 - 11 = 84 \text{ mm}$$

$$\text{Momento flector } M_1 = e \times N = 0.084 \times 40.70 = 3.42 \text{ kNm/m}$$

INFERIOR

$$60.02 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.21 \text{ kN/mm}^2 < 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$c = 60.02 / 1.9 = 32 \text{ mm} < 0.2t = 58 \text{ mm}$$

$$\text{excentricidade } e = t/2 - c/2 = 145 - 16 = 129 \text{ mm}$$

$$\text{Momento flector } M_1 = e \times N = 0.129 \times 60.02 = 7.74 \text{ kNm/m}$$

Nó A-4

SUPERIOR

$$73.76 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.25 \text{ kN/mm}^2 \leq 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$c = 73.76 / 1.9 = 39 \text{ mm} < 0.2t = 58 \text{ mm}$$

$$\text{excentricidade } e = t/2 - 50 - c/2 = 145 - 50 - 20 = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Momento flector } M_1 = e \times N = 0.075 \times 73.76 = 5.53 \text{ kNm/m}$$

INFERIOR

$$93.08 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.32 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$M_1 = \frac{15.48}{15.48 + 15.48 + 44.30} \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 5.71 \text{ kNm} / \text{m} ; \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 27.75 \text{ kNm} / \text{m}$$

$$\text{Factor de redução: } k = 44.30 / (15.48 + 15.48) = 1.43 < 2; (1 - k/4) = 0.64$$

$$e = M / N = 5.71 / 93.08 = 61 \text{ mm, } e$$

$$\text{reduzida} = 0.64 \times 61 = 39 \text{ mm} < 0.4t = 116 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(145 - 39) = 212 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 93.08 / 212 = 0.44 \text{ N/mm}^2 < f_d = 1.90 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$\text{Momento flector } M_2 = e \times N = 0.039 \times 93.08 = 3.63 \text{ kNm/m}$$

Nó A-3

SUPERIOR

$$106.82 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.37 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$M_1 = \frac{15.48}{15.48 + 15.48 + 44.30} \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 5.71 \text{ kNm} / \text{m} ; \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 27.75 \text{ kNm} / \text{m}$$

$$\text{Factor de redução: } k = 44.30 / (15.48 + 15.48) = 1.43 < 2; (1 - k/4) = 0.64$$

$$e = M / N = 5.71 / 106.82 = 53 \text{ mm}, e \text{ reduzida} = 0.64 \times 53 = 34 \text{ mm} < 0.4t = 116 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - 50 - e) = 2(145 - 50 - 34) = 122 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 106.82 / 122 = 0.88 \text{ N/mm}^2 < f_d$$

$$\text{Momento flector } M_2 = e \times N = 0.034 \times 106.82 = 3.63 \text{ kNm/m}$$

INFERIOR

$$126.14 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.43 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$M_1 = \frac{15.48}{15.48 + 15.48 + 44.30} \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 5.71 \text{ kNm} / \text{m} ; \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 27.75 \text{ kNm} / \text{m}$$

$$\text{Factor de redução: } k = 44.30 / (15.48 + 15.48) = 1.43 < 2; (1 - k/4) = 0.64$$

$$e = M / N = 5.71 / 126.14 = 45 \text{ mm}, e \text{ reduzida} = 0.64 \times 45 = 29 \text{ mm} < 0.4t = 116 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - 50 - e) = 2(145 - 29) = 232 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 126.14 / 232 = 0.44 \text{ N/mm}^2 < f_d$$

$$\text{Momento flector } M_2 = e \times N = 0.029 \times 126.14 = 3.66 \text{ kNm/m}$$

Nó A-2

SUPERIOR

$$139.88 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.48 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$M_1 = \frac{15.48}{15.48 + 15.48 + 44.30} \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 5.71 \text{ kNm} / \text{m} ; \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 27.75 \text{ kNm} / \text{m}$$

$$\text{Factor de redução: } k = 44.30 / (15.48 + 15.48) = 1.43 < 2; (1 - k/4) = 0.64$$

$$e = M / N = 5.71 / 139.88 = 41 \text{ mm}, e \text{ reduzida} = 0.64 \times 41 = 26 \text{ mm} < 0.4t = 116 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - 50 - e) = 2(145 - 50 - 26) = 136 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 139.88 / 136 = 1.03 \text{ N/mm}^2 < f_d$$

$$\text{Momento flector } M_2 = e \times N = 0.026 \times 139.88 = 3.64 \text{ kNm/m}$$

INFERIOR

$$159.20 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.55 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$M_1 = \frac{15.48}{15.48 + 15.48 + 44.30} \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 5.71 \text{ kNm} / \text{m} ; \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 27.75 \text{ kNm} / \text{m}$$

Factor de redução: $k = 44.30 / (15.48 + 15.48) = 1.43 < 2$; $(1 - k/4) = 0.64$
 $e = M / N = 5.71 / 159.20 = 36 \text{ mm}$, e reduzida = $0.64 \times 36 = 23 \text{ mm} < 0.4t = 116 \text{ mm}$
 $c = 2(t/2 - e) = 2(145 - 23) = 244 \text{ mm}$
 $\sigma_d = N / c = 159.20 / 244 = 0.65 \text{ N/mm}^2 < f_d$
 Momento flector $M_2 = e \times N = 0.023 \times 159.20 = 3.66 \text{ kNm/m}$

Nó A-1

SUPERIOR

$172.94 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times m = 0.60 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$

$$M_1 = \frac{15.48}{15.48 + 20.89 + 44.30} \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 5.33 \text{ kNm} / m ; \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 27.75 \text{ kNm} / m$$

Factor de redução: $k = 44.30 / (15.48 + 20.89) = 1.22 < 2$; $(1 - k/4) = 0.70$

$e = M / N = 5.33 / 172.94 = 31 \text{ mm}$,

e reduzida = $0.7 \times 31 = 22 \text{ mm} < 0.4t = 116 \text{ mm}$

$c = 2(t/2 - 50 - e) = 2(145 - 50 - 22) = 146 \text{ mm}$

$\sigma_d = N / c = 172.94 / 146 = 1.18 \text{ N/mm}^2 < f_d$

Momento flector $M_2 = e \times N = 0.022 \times 172.94 = 3.80 \text{ kNm/m}$

INFERIOR

$192.26 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times m = 0.66 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$

$$M_1 = \frac{20.89}{15.48 + 20.89 + 44.30} \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 7.19 \text{ kNm} / m ; \frac{9.9 \times 5.80^2}{12} = 27.75 \text{ kNm} / m$$

Factor de redução: $k = 44.30 / (15.48 + 20.89) = 1.22 < 2$; $(1 - k/4) = 0.70$

$e = M / N = 7.19 / 192.26 = 37 \text{ mm}$,

e reduzida = $0.7 \times 37 = 26 \text{ mm} < 0.4t = 116 \text{ mm}$

$c = 2(t/2 - e) = 2(145 - 26) = 238 \text{ mm}$

$\sigma_d = N / c = 192.26 / 238 = 0.81 \text{ N/mm}^2 < f_d$

Momento flector $M_2 = e \times N = 0.026 \times 192.26 = 5.00 \text{ kNm/m}$

Nó A-0

ARRANQUE

$M = M_2 / 2 = 5.00 / 2 = 2.50 \text{ kNm/m}$

$e = M / N = 2.50 / 202.44 = 12 \text{ mm}$

$c = 2(t/2 - e) = 2(145 - 12) = 266 \text{ mm}$

$\sigma_d = N / c = 202.44 / 266 = 0.76 \text{ N/mm}^2 < f_d$

Nó B-Cobertura

$$M = \frac{2.76}{2.76 + 44.30 + 67.62} 15.84 = 0.38 \text{ kN} \frac{\text{m}}{\text{m}};$$

$$\left(\frac{q_{3D} L_{3D}^2}{12} - \frac{q_{3E} L_{3E}^2}{12} \right) = \frac{9.90 \text{ kN}}{12 \text{ m}^2} (5.80^2 - 3.80^2) \text{ m}^2 = 15.84 \text{ kN} \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$e = M / N = 0.38 / 32.20 = 12 \text{ mm} < 0.4t = 46 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 12) = 91 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 32.20 / 91 = 0.35 \text{ N/mm}^2 < f_d = 5.45 \text{ N/mm}^2$$

Nó B-5

SUPERIOR

$$M = 0.38 \text{ kNm/m},$$

$$e = M / N = 0.38 / 40.17 = 9 \text{ mm} < 0.4t = 46 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 9) = 97 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 40.17 / 97 = 0.41 \text{ N/mm}^2 < f_d = 5.45 \text{ N/mm}^2$$

INFERIOR

$$M = 0.38 \text{ kNm/m}$$

$$e = M / N = 0.38 / 72.57 = 5 \text{ mm} < 0.4t = 46 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 5) = 105 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 72.57 / 105 = 0.69 \text{ N/mm}^2 < f_d = 5.45 \text{ N/mm}^2$$

Nó B-4

SUPERIOR

$$M = 0.38 \text{ kNm/m}$$

$$e = M / N = 0.38 / 80.34 = 5 \text{ mm} < 0.4t = 46 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 5) = 105 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 80.34 / 105 = 0.77 \text{ N/mm}^2 < f_d = 5.45 \text{ N/mm}^2$$

INFERIOR

$$M = 0.38 \text{ kNm/m}$$

$$e = M / N = 0.38 / 112.54 = 3 \text{ mm} < 0.4t = 46 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 3) = 109 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 112.54 / 109 = 1.03 \text{ N/mm}^2 < f_d = 5.45 \text{ N/mm}^2$$

Nó B-3

SUPERIOR

$$M = 0.38 \text{ kNm/m}$$

$$e = M / N = 0.38 / 120.51 = 3 \text{ mm} < 0.4t = 46 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 3) = 109 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 120.51 / 109 = 1.11 \text{ N/mm}^2 < f_d = 5.45 \text{ N/mm}^2$$

INFERIOR

$$M = 0.38 \text{ kNm/m}$$

$$e = M / N = 0.38 / 152.71 = 2 \text{ mm} < 0.4t = 46 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 2) = 111 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 152.71 / 111 = 1.38 \text{ N/mm}^2 < f_d = 5.45 \text{ N/mm}^2$$

Nó B-2

SUPERIOR

$$M = 0.38 \text{ kNm/m}$$

$$e = M / N = 0.38 / 160.68 = 2 \text{ mm} < 0.4t = 46 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 2) = 111 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 160.68 / 111 = 1.45 \text{ N/mm}^2 < f_d = 5.45 \text{ N/mm}^2$$

INFERIOR

$$M = 0.38 \text{ kNm/m}$$

$$e = M / N = 0.38 / 192.88 = 2 \text{ mm} < 0.4t = 46 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 2) = 111 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 192.88 / 111 = 1.74 \text{ N/mm}^2 < f_d = 5.45 \text{ N/mm}^2$$

Nó B-1

SUPERIOR

$$M = 0.38 \text{ kNm/m}$$

$$e = M / N = 0.38 / 200.85 = 2 \text{ mm} < 0.4t = 46 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 2) = 111 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 200.85 / 111 = 1.81 \text{ N/mm}^2 < f_d = 5.45 \text{ N/mm}^2$$

INFERIOR

$$M = \frac{2.13}{2.13 + 44.30 + 67.62} 15.84 = 0.30 \text{ kN} \frac{m}{m}$$

$$e = M / N = 0.30 / 233.05 = 1 \text{ mm} < 0.4t = 46 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 1) = 113 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 233.05 / 113 = 2.06 \text{ N/mm}^2 < f_d = 5.45 \text{ N/mm}^2$$

Nó B-0

ARRANQUE

$$M = M_2 / 2 = 0.30 / 2 = 0.15 \text{ kNm/m}$$

$$e = M / N = 0.15 / 243.38 = 1 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(57.5 - 1) = 113 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 243.38 / 113 = 2.15 \text{ N/mm}^2 < f_d$$

Nó C-Cobertura

$$12.88 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.04 \text{ kN/mm}^2 < 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$c = 12.88 / 1.9 = 7 \text{ mm} < 0.2t = 58 \text{ mm}$$

$$\text{excentricidade } e = t/2 - c/2 = 145 - 7 = 138 \text{ mm}$$

$$\text{Momento flector } M_1 = e \times N = 0.138 \times 12.88 = 1.78 \text{ kNm/m}$$

Nó C-5

SUPERIOR

$$26.62 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.09 \text{ kN/mm}^2 < 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$c = 26.62 / 1.9 = 14 \text{ mm} < 0.2t = 58 \text{ mm}$$

$$\text{excentricidade } e = t/2 - 50 - c/2 = 145 - 50 - 7 = 88 \text{ mm}$$

$$\text{Momento flector } M_1 = e \times N = 0.088 \times 26.62 = 2.34 \text{ kNm/m}$$

INFERIOR

$$39.50 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.14 \text{ kN/mm}^2 < 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$c = 39.50 / 1.9 = 21 \text{ mm} < 0.2t = 58 \text{ mm}$$

$$\text{excentricidade } e = t/2 - c/2 = 145 - 21 = 124 \text{ mm}$$

$$\text{Momento flector } M_1 = e \times N = 0.124 \times 39.50 = 4.90 \text{ kNm/m}$$

Nó C-4

SUPERIOR

$$53.24 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.18 \text{ kN/mm}^2 \leq 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$c = 53.24 / 1.9 = 28 \text{ mm} < 0.2t = 58 \text{ mm}$$

$$\text{excentricidade } e = t/2 - 50 - c/2 = 145 - 50 - 14 = 81 \text{ mm}$$

$$\text{Momento flector } M_1 = e \times N = 0.081 \times 73.76 = 5.97 \text{ kNm/m}$$

INFERIOR

$$66.12 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.23 \text{ kN/mm}^2 < 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$c = 66.12 / 1.9 = 35 \text{ mm} < 0.2t = 58 \text{ mm}$$

$$\text{excentricidade } e = t/2 - c/2 = 145 - 18 = 127 \text{ mm}$$

$$\text{Momento flector } M_1 = e \times N = 0.127 \times 66.12 = 8.40 \text{ kNm/m}$$

Nó C-3

SUPERIOR

$$79.86 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.27 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$M_1 = \frac{15.48}{15.48 + 15.48 + 67.62} \frac{9.9 \times 3.80^2}{12} = 1.87 \text{ kNm} / \text{m} ; \frac{9.9 \times 3.80^2}{12} = 11.91 \text{ kNm} / \text{m}$$

$$\text{Factor de redução: } k = 67.62 / (15.48 + 15.48) = 2.18 > 2 \Rightarrow \text{parágrafo 6.1.2}$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{N \times t}{N \times 4} = \frac{290}{4} = 73 \text{ mm} \geq 0.05t = 15 \text{ mm} ; \quad \phi = 1 - 2 \frac{e}{t} = 1 - 2 \frac{73}{290} = 0.50$$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \phi t f_d \Rightarrow 79.86 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \leq 0.5 \times 290 \text{ mm} \times 1.9 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 10^3 \frac{\text{mm}}{\text{m}} = 275.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Momento flector } M_2 = e \times N = 0.073 \times 79.86 = 5.83 \text{ kNm/m}$$

INFERIOR

$$92.74 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.32 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$M_1 = 1.87 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Factor de redução: } k = 67.62 / (15.48 + 15.48) = 2.18 > 2 \Rightarrow \text{parágrafo 6.1.2}$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{N \times t}{N \times 4} = \frac{290}{4} = 73 \text{ mm} \geq 0.05t = 15 \text{ mm} ; \quad \phi = 1 - 2 \frac{e}{t} = 1 - 2 \frac{73}{290} = 0.50$$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \phi t f_d \Rightarrow 92.74 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \leq 0.5 \times 290 \text{ mm} \times 1.9 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 10^3 \frac{\text{mm}}{\text{m}} = 275.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Momento flector } M_2 = e \times N = 0.073 \times 92.74 = 6.77 \text{ kNm/m}$$

Nó C-2

SUPERIOR

$$106.48 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.37 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$M_1 = 1.87 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Factor de redução: } k = 67.62 / (15.48 + 15.48) = 2.18 > 2 \Rightarrow \text{parágrafo 6.1.2}$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{N \times t}{N \times 4} = \frac{290}{4} = 73 \text{ mm} \geq 0.05t = 15 \text{ mm} ; \quad \phi = 1 - 2 \frac{e}{t} = 1 - 2 \frac{73}{290} = 0.50$$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \phi t f_d \Rightarrow 106.48 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \leq 0.5 \times 290 \text{ mm} \times 1.9 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 10^3 \frac{\text{mm}}{\text{m}} = 275.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Momento flector } M_2 = e \times N = 0.073 \times 106.48 = 7.77 \text{ kNm/m}$$

INFERIOR

$$119.36 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.41 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$M_1 = 1.87 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Factor de redu\c{c}\~ao: } k = 67.62 / (15.48 + 15.48) = 2.18 > 2 \Rightarrow \text{par\'agrafo 6.1.2}$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{N \times t}{N \times 4} = \frac{290}{4} = 73 \text{ mm} \geq 0.05t = 15 \text{ mm}; \quad \phi = 1 - 2\frac{e}{t} = 1 - 2\frac{73}{290} = 0.50$$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \phi t f_d = 119.36 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \leq 0.5 \times 290 \text{ mm} \times 1.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 10^3 \frac{\text{mm}}{\text{m}} = 275.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Momento flector } M_2 = e \times N = 0.073 \times 119.36 = 8.71 \text{ kNm/m}$$

Nó C-1

SUPERIOR

$$133.10 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.46 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$M_1 = \frac{15.48}{15.48 + 11.94 + 67.62} \frac{9.9 \times 3.80^2}{12} = 1.94 \text{ kNm} / \text{m}; \quad \frac{9.9 \times 3.80^2}{12} = 11.91 \text{ kNm} / \text{m}$$

$$\text{Factor de redu\c{c}\~ao: } k = 67.62 / (15.48 + 11.94) = 2.47 > 2 \Rightarrow \text{par\'agrafo 6.1.2}$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{N \times t}{N \times 4} = \frac{290}{4} = 73 \text{ mm} \geq 0.05t = 15 \text{ mm}; \quad \phi = 1 - 2\frac{e}{t} = 1 - 2\frac{73}{290} = 0.50$$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \phi t f_d \Rightarrow 133.10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \leq 0.5 \times 290 \text{ mm} \times 1.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 10^3 \frac{\text{mm}}{\text{m}} = 275.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Momento flector } M_2 = e \times N = 0.073 \times 133.10 = 9.72 \text{ kNm/m}$$

INFERIOR

$$145.98 \text{ kN} / 290 \text{ mm} \times \text{m} = 0.50 \text{ kN/mm}^2 > 0.25 \text{ kN/mm}^2 \Rightarrow$$

$$M_1 = \frac{11.94}{15.48 + 11.94 + 67.62} \frac{9.9 \times 3.80^2}{12} = 1.94 \text{ kNm} / \text{m}; \quad \frac{9.9 \times 3.80^2}{12} = 11.91 \text{ kNm} / \text{m}$$

$$\text{Factor de redu\c{c}\~ao: } k = 67.62 / (15.48 + 11.94) = 2.47 > 2 \Rightarrow \text{par\'agrafo 6.1.2}$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{N \times t}{N \times 4} = \frac{290}{4} = 73 \text{ mm} \geq 0.05t = 15 \text{ mm}; \quad \phi = 1 - 2\frac{e}{t} = 1 - 2\frac{73}{290} = 0.50$$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \phi t f_d \Rightarrow 145.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \leq 0.5 \times 290 \text{ mm} \times 1.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 10^3 \frac{\text{mm}}{\text{m}} = 275.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Momento flector } M_2 = e \times N = 0.073 \times 145.98 = 10.66 \text{ kNm/m}$$

Nó A-0

FUNDAÇÃO

$$M = M_2 / 2 = 10.66 / 2 = 5.33 \text{ kNm/m}$$

$$e = M / N = 5.33 / 163.88 = 33 \text{ mm}$$

$$c = 2(t/2 - e) = 2(145 - 33) = 224 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = N / c = 163.88 / 224 = 0.73 \text{ N/mm}^2 < f_d$$

VERIFICAÇÃO SÍSMICA

Pelo Eurocódigo 8-1, 2003, o período de vibração fundamental de um edifício no caso de uma acção sísmica é dado por:

$$T_1 = C_t H^{3/4} = 0.446s \quad \text{pag. 43, 4.3.3.2.2}$$

com $C_t = 0.05$ para alvenarias e com a altura de $H = 18.50 \text{ m}$ do edifício.

No Eurocódigo 8-1, 2000, com o anexo o Documento Nacional de Aplicação (DNA) encontra-se no quadro 4.1, pagina 4, os parâmetros definidores do espectro de resposta elástico com os valores de classe B que correspondem ao edifício em estudo.

Os valores para acção sísmica tipo 1 são:

- Parâmetro de caracterização de tipo de solo $S = 1.0$
- Coeficiente de amplificação da aceleração espectral $\beta_0 = 2.5$
- Expoentes que influenciam a forma do espectro para períodos de vibração superiores a T_C e T_D respectivamente $k_1 = 1$
 $k_2 = 2$
- Limites do ramo de aceleração espectral constante $T_B = 0.12s$
 $T_C = 0.35s$
- Valor definido o início do ramo de deslocamento constante de espectro $T_D = 2.4$

Os valores para acção sísmica tipo 2 são:

- Parâmetro de caracterização de tipo de solo $S = 1.1$
- Coeficiente de amplificação da aceleração espectral $\beta_0 = 2.3$
- Expoentes que influenciam a forma do espectro para períodos de vibração superiores a T_C e T_D respectivamente $k_1 = 1$
 $k_2 = 2$
- Limites do ramo de aceleração espectral constante $T_B = 2.5s$
 $T_C = 0.9s$
- Valor definido o início do ramo de deslocamento constante de espectro $T_D = 3.0$

$$\text{Assim verifica-se } T_1 = 0.446s \leq \left\{ \frac{4 \times T_c}{2s} \right\} = \left\{ \frac{4 \times 0.35}{2s} = 1.4s \right\}$$

pag. 42, 4.3.3.2.1, EC 8-1, 2003

A força de corte na base é $F_b = S_d(T_1) \times m \times \lambda$ pag. 43, 4.3.3.2.2, EC 8-1, 2003

em que:

$S_d(T_1)$ ordenada do espectro de cálculo

m massa total de edifício

λ factor de correcção; no presente caso de estudo $\lambda=1$

O Eurocódigo 8-1, 2000, com o anexo Documento Nacional de Aplicação (DNA) determinam para a acção sísmica do:

Tipo 1:

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) = \alpha \times S \times \frac{\beta_0}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right]^{k_{d1}} \geq \alpha \times 0.22$$

onde

α relação entre o valor de cálculo da aceleração na base a_g e a aceleração da gravidade g ($\alpha = a_g/g$)

em que:

a_g aceleração máxima nominal na base,
zona sísmica A: para acção sísmica tipo1: 2.7; tipo 2: 1.6, (DNA)

g aceleração da gravidade

q coeficiente de comportamento

k_{d1}, k_{d2} expoentes que influenciam a forma do espectro para
períodos de vibração superiores a T_C e T_D respectivamente

$\alpha = 2.7/9.81 = 0.28$

$q = 1.5$ conforme com Eurocódigo 8 1-3 e é só uma aproximação

$k_{d1} = 2/3$, Eurocódigo 8 1-1, quadro 4.2

$$S_d(T) = 0.28 \times 1.0 \times \frac{2.5}{1.5} \left[\frac{0.35}{0.446} \right]^{2/3} = 0.40 \geq 0.28 \times 0.22 = 0.06$$

Tipo 2:

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = \alpha \times S \times \frac{\beta_0}{q} \geq \alpha \times 0.36$$

$$\alpha = 1.6/9.81 = 0.16$$

$$S_d(T) = 0.16 \times 1.1 \times \frac{2.3}{1.5} = 0.27 \geq 0.16 \times 0.36 = 0.06$$

Cálculo da massa de edifício (m)

Paredes exteriores com revestimento de 0.4 kN/m²:

$$2 \times (16 \text{ m} + 9.42 \text{ m}) \times 16.7 \text{ m} \times 0.29 \text{ m} \times 13 \text{ kN/m}^2 = 3201 \text{ kN}$$

$$2 \times (16 \text{ m} + 9.42 \text{ m}) \times 16.7 \text{ m} \times 0.4 \text{ kN/m}^2 = 340 \text{ kN}$$

Paredes interiores com revestimento de 0.4 kN/m²:

$$(15.42 \text{ m} + 2 \times 9.19 \text{ m}) \times 16.7 \text{ m} \times 0.115 \text{ m} \times 19 \text{ kN/m}^2 = 1233 \text{ kN}$$

$$(15.42 \text{ m} + 2 \times 9.19 \text{ m}) \times 16.7 \text{ m} \times 0.4 \text{ kN/m}^2 = 226 \text{ kN}$$

Tectos com revestimento de 0.5 kN/m²

$$7 \times 16 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 4.77 \text{ kN/m}^2 = 5342 \text{ kN}$$

$$7 \times 16 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 0.5 \text{ kN/m}^2 = 560 \text{ kN}$$

$$\text{Argamassa para as paredes} = 831 \text{ kN}$$

$$\text{Massa total m} = 11733 \text{ kN}$$

Utilizando o método das forças laterais, EC 8-1, 2010, Tab. 4.1, dado que existe regularidade em planta e altura e verifica-se que o período de vibração fundamental T_1 é inferior ao disposto no ponto 4.3.3.2.1. A força de corte na base é dada por

$$F_b = S_d(T_1) \times m \times \lambda$$

Considere-se esta força de corte na base o esforço condicionante ao estado limite último da alvenaria estrutural. Os valores das forças de corte na base são então os seguintes:

$$\text{Tipo 1: } F_b = 0.40 \times 11733 \text{ kN} = 4693 \text{ kN}$$

$$\text{Tipo 2: } F_b = 0.27 \times 11733 \text{ kN} = 3168 \text{ kN}.$$

A força de corte na base distribui-se de acordo com o ponto 4.3.3.2.3 do EC 8, sendo os esforços sísmicos horizontais em cada piso dados pela expressão:

$$F_i = F_b \frac{z_i \times m_i}{\sum z_j \times m_j}$$

em que:

z_i, z_j alturas de massas m_i e m_j acima do nível de aplicação da acção sísmica

Os sistemas de contraventamento nesta solução de alvenaria estrutural (incluindo alvenaria estrutural pré-esforçada) são as secções de corte das próprias paredes de alvenaria.

A massa m_i de cada piso é então de 1530 kN. O somatório $\sum z_i \times m_i$ é igual 68850 kNm, donde resulta para cada piso os seguintes forças horizontais actuantes. Estes esforços sísmicos vão ter que ser multiplicados pelo coeficiente δ para ter em conta os efeitos de torção. De acordo com o EC 8 assume o valor de 1.3. No quadro seguinte apresenta-se igualmente a tensão de corte de cálculo instalada nas paredes de contraventamento (19.9 m²):

Pisos	Força horizontal (kN)	Forças horizontais com factor δ (kN)	Tensão de corte instalada (kN/m ²)
6	1548.7	2013.31	101.2
5	1267.1	1647.23	82.8
4	938.6	1220.18	61.3
3	624.2	811.46	40.8
2	314.4	408.72	20.5
Total	4693	6100.9	

Estas forças horizontais majoradas pelo factor δ vão ter que ser suportadas pela capacidade de resistência ao corte da juntas horizontais das paredes de alvenaria. O EC 6 dá-nos a resistência ao corte da parede de alvenaria com base no modelo de Coulomb, onde a mobilização do atrito pela componente vertical da carga assume um papel determinante. Compreende-se assim o potencial das alvenarias estruturais pré-esforçadas, onde o valor do pré-esforço vertical, ao mobilizar maior quantidade de atrito, faz aumentar a resistência ao corte da parede de alvenaria, aumentando assim a sua capacidade resistente à acção sísmica.

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4\sigma_d \quad \text{EC 6, 3.6.2}$$

em que:

f_{vk} resistência ao corte característica da parede de alvenaria

f_{vko} resistência ao corte para carga vertical nula

Utilizando os valores propostos pelo EC 6 a expressão acima vem dada respectivamente para os pisos 6 e 2 pelas expressões

$$\text{Piso 6} \quad f_{vk} = 300 + 0.4 \times 76.8 = 331 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Piso 2} \quad f_{vk} = 300 + 0.4 \times 460.8 = 484 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Destes resultados parece poder concluir-se do potencial da alvenaria estrutural pré-esforçada como sistema construtivo alternativo aos sistemas estruturais tradicionais. De facto, os resultados acima indiciam que explorando mobilização do atrito através de carga vertical, pode-se aumentar a resistência sísmica, apesar da alvenaria estrutural possuir deficiente ductilidade.

Embora o objectivo desta tese não fosse produzir investigação sobre a capacidade resistente sísmica das alvenarias estruturais, no entanto o resultado acima encoraja a desenvolver posterior investigação acerca do potencial desta solução da alvenaria estrutural pré-esforçada.

O Anexo Nacional do EC 8, enquanto regulamento de projecto, em termos de exercício da profissão e da possibilidade de recorrer a soluções de alvenaria estrutural simples, sem armaduras, limita o numero de pisos deste tipo de edificações somente a um. No entanto, este documento não apresenta qualquer justificação que suporte esta decisão, nem abre a possibilidade de utilizar a alvenaria estrutural pré-esforçada. Esta decisão normativa contradiz o disposto no Capítulo 9 do EC 8, o qual permite, dentro de certas condições, a possibilidade de construir edifícios de alvenaria simples até 4 pisos. Seguindo a metodologia expresso no ponto 9.7 do EC 8, consubstanciada no Quadro 9.3, e para o edifício temos vindo analisar, onde a área das secções transversais de paredes de contraventamento horizontal, em função da área total de pavimento por piso, e para uma aceleração de base regulamentar de $1,5 \text{ m/s}^2$, seria permitido construir um edifício de 4 pisos.

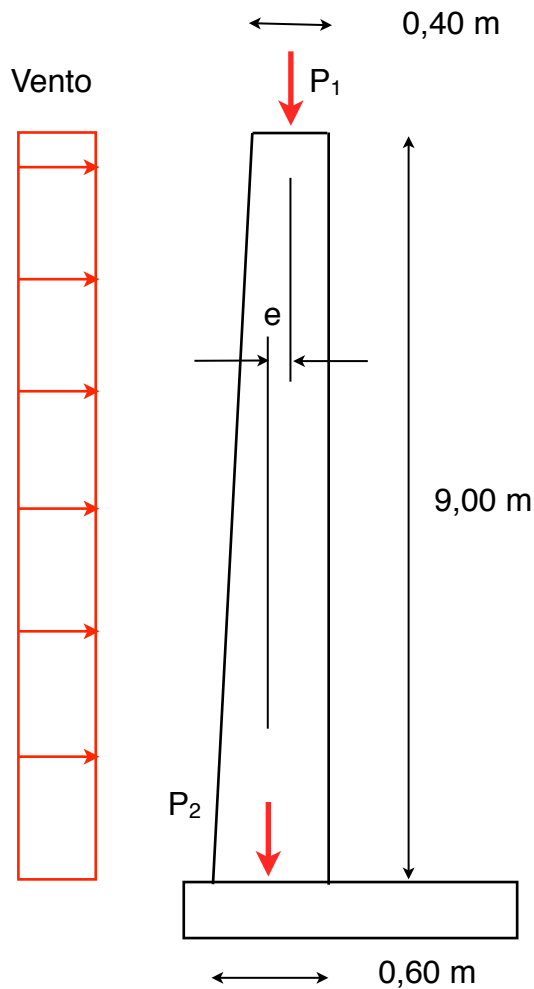
A alvenaria estrutural tem vantagens e desvantagens como solução construtiva para a materialização de edificações. A principal desvantagem é estrutural e prende-se com deficiente ductilidade que apresenta. Esta deficiente ductilidade levou ao abandono desta solução construtiva. O material betão armado, além de apresentar melhor comportamento no capítulo da ductilidade, apresenta-se como uma solução formal que disponibiliza maior liberdade criativa ao arquitecto projectista.

No entanto, para certo tipo de edifícios, a solução alvenaria estrutural carrega algumas vantagens inclusive no plano estrutural. Na solução alvenaria estrutural os edifícios apresentam-se com regularidade em planta e em altura, o que se traduz numa maior eficácia no requisito do centro de rigidez da estrutura coincidir com o centro de gravidade da planta, e em particular os edifícios de alvenaria estrutural possibilitam introduzir soluções monolíticas, tirando partido de efeito de caixa.

Acresce que no plano ambiental e da economia do País a solução alvenaria estrutural apresenta-se como mais competitiva e eficiente que a solução tradicional de edifícios com estrutura de betão armado, conforme concluo nesta tese.

As potencialidades da alvenaria estrutural pré-esforçada devem ser investigadas e carreadas para a regulamentação.

2. ANÁLISE ESTRUTURAL DE EDIFÍCIO INDUSTRIAL EM ALVENARIA DA PEDRA



O edifício considera-se rectangular com dimensões em planta de 20 m (largura) e 72 m (comprimento) e 9 m de altura.

Cobertura autoportante em aço com 4 kg/m^2

Sobrecarga $0,5 \text{ kN/m}^2$

$p = 28 \text{ kN/m}^3$

Factor de segurança: 1,5

$e = 0,10 \text{ m}$

Vento = $1,00 \text{ kN/m}^2$

Figura B-2, Parede exterior em alvenaria de pedra

$$P_1 = (0,04 + 0,5) \times 10,00 \times 1,5 = 8 \text{ kN/m}$$

$$P_2 = (28,00 \times (0,4+0,6)/2 \times 9,00 \times 1,5) + 8 = 197 \text{ kN/m}$$

Resistência a compressão = 80 MPa, com factor de segurança 1,5: 53 MPa

$$N/A = 197/(0,6 \times 1,00) = 328 \text{ kN/m}^2 \cdot \text{m} < 53 \text{ MPa}$$

$$\text{Vento} = 1,00 \times 9,00 \times 1,5 = 13,50 \text{ kN/m}$$

Momento Flector:

$$M_1 = 0;$$

$$M_2 = 197 \times 0,1 + 13,5 \times 4,5 = 80,45 \text{ kNm/m}$$

$$I = (1,0 \times 0,6^3)/12$$

$$(M \times z)/I = (80,45 \times 0,3)/I = 1,341 \text{ MPa} < 53 \text{ MPa}$$

Verificação sísmica de acordo com a verificação do edifício modelo

$$\text{Peso por metro } W = 28 \times (0,4 \times 0,6)/2 \times 1,0 \times 9,0 = 126 \text{ kN/m}$$

$$T_1 = C_1 H^{3/4} = 0,05 \times 9,0^{3/4} = 0,26 \text{ s}$$

$$T_1 = 0,26 < 1,4 \text{ s ou } 2 \text{ s}$$

$$S_d(T) = 0,28 \times 1,0 \times (2,5/1,5) \times (0,35/0,26)^{2/3} = 0,57 > 0,06$$

$$F_b = 0,57 \times 126 = 71,8 \text{ kN}$$

$$71,8/0,6 \times 1,0 = 120 \text{ kN/m}^2 < 53 \text{ MPa}$$

Desde forma, a parede por si só verifica os requisitos de EC6 sem a consideração de contraventamento e os contrafortes.

ANEXO C

ANÁLISE ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO MODELO EM CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL

Simulação informática com recurso ao programa CYPE, obtendo-se os seguintes resultados automáticos:

"DADOS DA OBRA

1. Dados gerais da estrutura

Projecto: Edifício Modelo em construção convencional

2. Dados geométricos de grupos e plantas

Grupo	Nome do grupo	Planta	Nome planta	Altura	Cota
6	Piso 6	6	Piso 6	3.00	18.80
5	Piso 5	5	Piso 5	3.00	15.80
4	Piso 4	4	Piso 4	3.00	12.80
3	Piso 3	3	Piso 3	3.00	9.80
2	Piso 2	2	Piso 2	3.00	6.80
1	Piso 1	1	Piso 1	3.80	3.80
0	Fundação				0.00

3. Dados geométricos de pilares, paredes e muros

3.1. Pilares

GI: grupo inicial

GF: grupo final

Âng: ângulo do pilar em graus sexagesimais

Referência	Coord(P.Fixo)	Dados dos pilares			Âng.	Ponto fixo
		GI- GF	Vinculação exterior			
P1	(-8.00, 4.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	
P2	(-1.00, 4.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	
P3	(1.00, 4.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	
P4	(8.00, 4.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	
P5	(-8.00, -6.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	
P6	(-1.00, -6.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	
P7	(1.00, -6.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	
P8	(8.00, -6.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	
P9	(-8.00, 0.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	
P10	(-1.00, 0.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	
P11	(1.00, 0.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	
P12	(8.00, 0.00)	0-6	Sem vinculação exterior	0.0	Centro	

4. Dimensões, coeficientes de encastramento e coeficientes de encurvadura para cada piso

Referência pilar	Planta	Dimensões	Coefs. encastramento		Coefs. encurvadura	
			Ext.Superior	Ext.Inferior	Encurvadura X	Encurvadura Y
P5,P9,P12	6	0.40x0.40	0.30	1.00	1.00	1.00
	5	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	4	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	3	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	2	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	1	0.45x0.45	1.00	1.00	1.00	1.00
P8	6	0.40x0.40	0.30	1.00	1.00	1.00
	5	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	4	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	3	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	2	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	1	0.45x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
P1,P2,P3,P4	6	0.40x0.40	0.30	1.00	1.00	1.00
	5	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	4	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	3	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	2	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	1	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
P10,P11	6	0.40x0.40	0.30	1.00	1.00	1.00
	5	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	4	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	3	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	2	0.45x0.45	1.00	1.00	1.00	1.00
	1	0.45x0.45	1.00	1.00	1.00	1.00
P6	6	0.30x0.30	0.30	1.00	1.00	1.00
	5	0.30x0.30	1.00	1.00	1.00	1.00
	4	0.30x0.30	1.00	1.00	1.00	1.00
	3	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	2	0.45x0.45	1.00	1.00	1.00	1.00
	1	0.45x0.45	1.00	1.00	1.00	1.00
P7	6	0.30x0.30	0.30	1.00	1.00	1.00
	5	0.30x0.30	1.00	1.00	1.00	1.00
	4	0.30x0.30	1.00	1.00	1.00	1.00
	3	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	2	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00
	1	0.40x0.40	1.00	1.00	1.00	1.00

5. Normas consideradas

Betão: REBAP e RSA

Aços enformados: MV110

Aços laminados e compostos: REAE

6. Acções consideradas

6.1. Verticais

Planta	SOBRE. (kN/m ²)	Revest.paredes (kN/m ²)
Piso 6	1.0	0.5
Piso 5	2.0	0.5
Piso 4	2.0	0.5
Piso 3	2.0	0.5
Piso 2	2.0	0.5
Piso 1	2.0	0.5
Fundação	2.0	0.5

6.2. Vento

Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes

Zona Eólica: A

Rugosidade: 1

Larguras de banda		
Plantas	Largura de banda Y (m)	Largura de banda X (m)
Em todas as plantas	8.00	16.00

Realiza-se análise dos efeitos de 2ª ordem

Valor para multiplicar os deslocamentos 1.59

Coefficientes de Cargas

+X: 1.00 -X:1.00

+Y: 1.00 -Y:1.00

Cargas de vento		
Planta	Vento X (kN)	Vento Y (kN)
Piso 6	9.084	18.168
Piso 5	17.138	34.276
Piso 4	16.845	33.691
Piso 3	16.845	33.691
Piso 2	16.845	33.691
Piso 1	19.091	38.183

6.3. Sismo

Segundo R.S.A. (Modal Espectral)

Realiza-se a análise dos efeitos de 2ª ordem

Valor para multiplicar os deslocamentos 1.00

Acção sísmica segundo X

Acção sísmica segundo Y

Zona:A Amortecimento:5% Tipo de solo:Solos duros

Critério de armadura a aplicar por ductilidade: Ductilidade normal

Número de modos: 6
 Valor quase-permanente de sobrecarga: 0.50
 Ductilidade: 2.50

6.4. Acções de carga

Automáticas	Permanente Sobrecarga Sismo X 1 Sismo X 2 Sismo Y 1 Sismo Y 2 Vento +X Vento -X Vento +Y Vento -Y
-------------	--

7. Estados limite

E.L.U. Betão	REBAP Utilização da construção: Compartimentos destinados a utilização de carácter privado (por exemplo: habitações, quartos de hotéis, quartos e pequenas enfermarias de hospitais)
E.L.U. Betão em fundações	REBAP Utilização da construção: Compartimentos destinados a utilização de carácter privado (por exemplo: habitações, quartos de hotéis, quartos e pequenas enfermarias de hospitais)
Tensões sobre o terreno	Acções características
Deslocamentos	Acções características

8. Situações de projecto

Para as distintas situações de projecto, as combinações de acções serão definidas de acordo com os seguintes critérios:

Combinações não sísmicas

Com coeficientes

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q1} \psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{ai} Q_{ki}$$

Sem coeficientes

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

Combinações sísmicas

Com coeficientes

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_A A_E + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{ai} Q_{ki}$$

Sem coeficientes

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_A A_E + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

Donde:

G_k Acção permanente

Q_k Acção variável

A_E Acção sísmica

γ_G Coeficiente parcial de segurança das acções permanentes

$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de segurança da acção variável principal

$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de segurança das acções variáveis de acompanhamento
($i > 1$) para situações não sísmicas
($i \geq 1$) para situações sísmicas

γ_A Coeficiente parcial de segurança da acção sísmica

$\psi_{p,1}$ Coeficiente de combinação da acção variável principal

$\psi_{a,i}$ Coeficiente de combinação das acções variáveis de acompanhamento
($i > 1$) para situações não sísmicas
($i \geq 1$) para situações sísmicas

8.1. Coeficientes parciais de segurança (γ) e coeficientes de combinação (ψ)

Para cada situação de projecto e estado limite os coeficientes a utilizar serão:

E.L.U. Betão: REBAP e RSA

E.L.U. Betão em fundações: REBAP e RSA

Situação 1				
	Coeficientes parciais (γ)		Coeficientes (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente (G)	1.00	1.50	1.00	1.00
Sobrecarga (Q)	0.00	1.50	1.00	0.40
Vento (Q)	0.00	1.50	1.00	0.40
Neve (Q)	0.00	1.50	1.00	0.60
Sismo (A)				

Situação 2				
	Coeficientes parciais (γ)		Coeficientes (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente (G)	1.00	1.00	1.00	1.00
Sobrecarga (Q)	0.00	1.00	0.20	0.20
Vento (Q)	0.00	1.00	0.00	0.00
Neve (Q)	0.00	1.00	0.00	0.00
Sismo (A)	-1.50	1.50	1.00	0.00 ⁽¹⁾

Situação 2				
	Coeficientes parciais (γ)		Coeficientes (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Notas: ⁽¹⁾ Fracção das solicitações sísmicas a considerar na direcção ortogonal: As solicitações obtidas dos resultados da análise em cada uma das direcções ortogonais combinar-se-ão com 0 % dos da outra.				

Tensões sobre o terreno

Deslocamentos

Situação 1: Acções variáveis sem sismo		
	Coeficientes parciais (γ)	
	Favorável	Desfavorável
Permanente (G)	1.00	1.00
Sobrecarga (Q)	0.00	1.00
Vento (Q)	0.00	1.00
Neve (Q)	0.00	1.00
Sismo (A)		

Situação 2: Sísmica		
	Coeficientes parciais (γ)	
	Favorável	Desfavorável
Permanente (G)	1.00	1.00
Sobrecarga (Q)	0.00	1.00
Vento (Q)	0.00	0.00
Neve (Q)	0.00	1.00
Sismo (A)	-1.00	1.00

9. Materiais utilizados

9.1. Betão

Elemento	Betão	f_{ck} (MPa)	γ_c
Vigas e lajes de fundação	B20 (C16/20)	16	1.50
Lajes	B30 (C25/30)	25	1.50
Pilares e paredes	B30 (C25/30)	25	1.50
Muros	B30 (C25/30)	25	1.50

9.2. Aços por elemento

9.2.1. Aços em varões

Para todos os elementos estruturais da obra: A400; $f_{yk} = 400$ MPa; $\gamma_s = 1.15$

9.2.2. Aços em perfis

Tipo de aço para perfis	Aço	Limite elástico (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Aços enformados	Fe 360	235	206

Tipo de aço para perfis	Aço	Limite elástico (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Aços laminados	Fe 360	235	206

ACÇÕES CONSIDERADAS

■ Nomes das acções

AP Permanente

SOBRE. Sobrecarga

V(+X) Vento +X

V(-X) Vento -X

V(+Y) Vento +Y

V(-Y) Vento -Y

SisX 1 Sismo X 1

SisX 2 Sismo X 2

SisY 1 Sismo Y 1

SisY 2 Sismo Y 2

■ E.L.U. Betão

REBAP

Utilização da construção: Compartimentos destinados a utilização de carácter privado (por exemplo: habitações, quartos de hotéis, quartos e pequenas enfermarias de hospitais)

■ E.L.U. Betão em fundações

REBAP

Utilização da construção: Compartimentos destinados a utilização de carácter privado (por exemplo: habitações, quartos de hotéis, quartos e pequenas enfermarias de hospitais)

■ E.L.U. Aço enformado

MV110-PORT

Utilização da construção: Compartimentos destinados a utilização de carácter privado (por exemplo: habitações, quartos de hotéis, quartos e pequenas enfermarias de hospitais)

■ E.L.U. Aço laminado

REAE

Utilização da construção: Compartimentos destinados a utilização de carácter privado (por exemplo: habitações, quartos de hotéis, quartos e pequenas enfermarias de hospitais)

Comb.	AP	SOBRE.	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SisX 1	SisX 2	SisY 1	SisY 2
1	1.000									
2	1.500									
3	1.000	1.500								
4	1.500	1.500								
5	1.000		1.500							
6	1.500		1.500							
7	1.000	0.600	1.500							
8	1.500	0.600	1.500							
9	1.000	1.500	0.600							
10	1.500	1.500	0.600							
11	1.000			1.500						

Comb.	AP	SOBRE.	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SisX 1	SisX 2	SisY 1	SisY 2
12	1.500			1.500						
13	1.000	0.600		1.500						
14	1.500	0.600		1.500						
15	1.000	1.500		0.600						
16	1.500	1.500		0.600						
17	1.000				1.500					
18	1.500				1.500					
19	1.000	0.600			1.500					
20	1.500	0.600			1.500					
21	1.000	1.500			0.600					
22	1.500	1.500			0.600					
23	1.000					1.500				
24	1.500					1.500				
25	1.000	0.600				1.500				
26	1.500	0.600				1.500				
27	1.000	1.500				0.600				
28	1.500	1.500				0.600				
29	1.000						-1.500			
30	1.000	0.200					-1.500			
31	1.000						1.500			
32	1.000	0.200					1.500			
33	1.000							-1.500		
34	1.000	0.200						-1.500		
35	1.000							1.500		
36	1.000	0.200						1.500		
37	1.000								-1.500	
38	1.000	0.200							-1.500	
39	1.000								1.500	
40	1.000	0.200							1.500	
41	1.000									-1.500
42	1.000	0.200								-1.500
43	1.000									1.500
44	1.000	0.200								1.500

Tensões sobre o terreno
Acções características

▪ **Deslocamentos**

Acções características

Comb.	AP	SOBRE.	V(+X)	V(-X)	V(+Y)	V(-Y)	SisX 1	SisX 2	SisY 1	SisY 2
1	1.000									
2	1.000	1.000								
3	1.000		1.000							
4	1.000	1.000	1.000							
5	1.000			1.000						
6	1.000	1.000		1.000						
7	1.000				1.000					
8	1.000	1.000			1.000					
9	1.000					1.000				
10	1.000	1.000				1.000				
11	1.000						-1.000			
12	1.000	1.000					-1.000			
13	1.000						1.000			
14	1.000	1.000					1.000			
15	1.000							-1.000		
16	1.000	1.000						-1.000		
17	1.000							1.000		
18	1.000	1.000						1.000		
19	1.000								-1.000	
20	1.000	1.000							-1.000	
21	1.000								1.000	
22	1.000	1.000							1.000	
23	1.000									-1.000
24	1.000	1.000								-1.000
25	1.000									1.000
26	1.000	1.000								1.000

MEDIÇÃO

Medição de superfícies e volumes

Obra: Edifício Modelo em construção convencional

* A medição das vigas de fundação flutuantes (sem vinculação exterior) incluem-se dentro da secção de vigas.

Grupo de Plantas Número 0: Fundação

Número Plantas Iguais: 1

Superfície total: 170.90 m²
Superfície total lajes: 106.39 m²
Lajes maciças: 106.39 m²
Superfície em planta de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 62.32 m²
Superfície lateral de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 93.64 m²
Betão total em vigas: 57.82 m³
Vigas: 57.82 m³
Volume total lajes: 26.93 m³
Lajes maciças: 26.93 m³

Grupo de Plantas Número 1: Piso 1

Número Plantas Iguais: 1

Superfície total: 162.04 m²
Superfície total lajes: 135.11 m²
Lajes maciças: 135.11 m²
Superfície em planta de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 24.73 m²
Superfície lateral de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 38.83 m²
Betão total em vigas: 11.10 m³
Vigas: 11.10 m³
Volume total lajes: 33.78 m³
Lajes maciças: 33.78 m³

Grupo de Plantas Número 2: Piso 2

Número Plantas Iguais: 1

Superfície total: 161.98 m²
Superfície total lajes: 135.13 m²
Lajes maciças: 135.13 m²
Superfície em planta de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 24.80 m²
Superfície lateral de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 38.94 m²
Betão total em vigas: 11.05 m³
Vigas: 11.05 m³
Volume total lajes: 33.78 m³
Lajes maciças: 33.78 m³

Grupo de Plantas Número 3: Piso 3

Número Plantas Iguais: 1

Superfície total: 161.96 m²
Superfície total lajes: 135.15 m²
Lajes maciças: 135.15 m²
Superfície em planta de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 24.89 m²
Superfície lateral de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 39.05 m²
Betão total em vigas: 11.05 m³
Vigas: 11.05 m³
Volume total lajes: 33.79 m³
Lajes maciças: 33.79 m³

Grupo de Plantas Número 4: Piso 4

Número Plantas Iguais: 1

Superfície total: 161.91 m²
Superfície total lajes: 135.15 m²
Lajes maciças: 135.15 m²
Superfície em planta de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 24.98 m²
Superfície lateral de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 39.23 m²
Betão total em vigas: 11.05 m³
Vigas: 11.05 m³
Volume total lajes: 33.79 m³
Lajes maciças: 33.79 m³

Grupo de Plantas Número 5: Piso 5

Número Plantas Iguais: 1

Superfície total: 161.91 m²
Superfície total lajes: 135.15 m²
Lajes maciças: 135.15 m²
Superfície em planta de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 24.98 m²
Superfície lateral de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 39.23 m²
Betão total em vigas: 11.05 m³
Vigas: 11.05 m³
Volume total lajes: 33.79 m³
Lajes maciças: 33.79 m³

Grupo de Plantas Número 6: Piso 6

Número Plantas Iguais: 1

Superfície total: 166.87 m²
Superfície total lajes: 140.64 m²
Lajes maciças: 140.64 m²
Superfície em planta de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 24.45 m²
Superfície lateral de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 36.48 m²
Betão total em vigas: 10.84 m³
Vigas: 10.84 m³
Volume total lajes: 35.16 m³
Lajes maciças: 35.16 m³

Medição de superfícies e volumes

Obra: Edifício Modelo em construção convencional

* A medição das vigas de fundação flutuantes (sem vinculação exterior) incluem-se dentro da secção de vigas.

Resumo total obra

Superfície total: 1147.57 m²

Superfície total lajes: 922.72 m²

Lajes maciças: 922.72 m²

Superfície em planta de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 211.15 m²

Superfície lateral de: vigas, lintéis não estruturais e muros: 325.40 m²

Betão total em vigas: 123.96 m³

Vigas: 123.96 m³, Volume total lajes: 231.02 m³, Lajes maciças: 231.02 m³

QUANTIDADE DA OBRA

* A medição das vigas de fundação flutuantes (sem vinculação exterior) incluem-se dentro da secção de vigas.

Fundação - Superfície total: 170.90 m²

Elemento	Superfícies (m ²)	Volume (m ³)	Varões (Kg)
Lajes	106.39	26.93	2752
Vigas	62.32	57.82	5514
Cofragem lateral	93.64		
Total	262.35	84.75	8266
Índices (por m ²)	1.535	0.496	48.37

Piso 1 - Superfície total: 162.04 m²

Elemento	Superfícies (m ²)	Volume (m ³)	Varões (Kg)
Lajes	135.11	33.78	4862
Vigas	24.73	11.10	3688
Cofragem lateral	38.83		
Pilares (Sup. Cofragem)	69.40	7.45	3566
Escadas	12.03	1.92	126
Total	280.10	54.25	12242
Índices (por m ²)	1.729	0.335	75.55

Piso 2 - Superfície total: 161.98 m²

Elemento	Superfícies (m ²)	Volume (m ³)	Varões (Kg)
Lajes	135.13	33.78	4470
Vigas	24.80	11.05	3056
Cofragem lateral	38.94		
Pilares (Sup. Cofragem)	51.90	5.37	1443
Escadas	9.62	1.73	125
Total	260.39	51.93	9094
Índices (por m ²)	1.608	0.321	56.14

Piso 3 - Superfície total: 161.96 m²

Elemento	Superfícies (m ²)	Volume (m ³)	Varões (Kg)
Lajes	135.15	33.79	4027
Vigas	24.89	11.05	2566
Cofragem lateral	39.05		

Elemento	Superfícies (m2)	Volume (m3)	Varões (Kg)
Pilares (Sup. Cofragem)	50.40	5.04	1192
Escadas	9.62	1.73	125
Total	259.11	51.61	7910
Índices (por m2)	1.600	0.319	48.84

Piso 4 - Superfície total: 161.91 m2

Elemento	Superfícies (m2)	Volume (m3)	Varões (Kg)
Lajes	135.15	33.79	3547
Vigas	24.98	11.05	1941
Cofragem lateral	39.23		
Pilares (Sup. Cofragem)	48.20	4.66	1044
Escadas	9.62	1.73	125
Total	257.18	51.23	6657
Índices (por m2)	1.588	0.316	41.12

Piso 5 - Superfície total: 161.91 m2

Elemento	Superfícies (m2)	Volume (m3)	Varões (Kg)
Lajes	135.15	33.79	3223
Vigas	24.98	11.05	1381
Cofragem lateral	39.23		
Pilares (Sup. Cofragem)	48.20	4.66	799
Escadas	9.62	1.73	125
Total	257.18	51.23	5528
Índices (por m2)	1.588	0.316	34.14

Piso 6 - Superfície total: 166.87 m2

Elemento	Superfícies (m2)	Volume (m3)	Varões (Kg)
Lajes	140.64	35.16	2678
Vigas	24.45	10.84	757
Cofragem lateral	36.48		
Pilares (Sup. Cofragem)	48.20	4.66	543
Total	249.77	50.66	3978
Índices (por m2)	1.497	0.304	23.84

Total obra - Superfície total: 1147.57 m2

Elemento	Superfícies (m2)	Volume (m3)	Varões (Kg)
Lajes	922.72	231.02	25559
Vigas	211.15	123.96	18903
Cofragem lateral	325.40		
Pilares (Sup. Cofragem)	316.30	31.84	8587
Escadas	50.51	8.84	626
Total	1826.08	395.66	53675
Índices (por m2)	1.591	0.345	46.77

OS PILARES

■ h: Altura do nível relativamente ao imediatamente inferior

■ Distorção:

Absoluta: Diferença entre os deslocamentos de um nível e os do imediatamente inferior

Relativa: Relação entre a altura e a distorção absoluta

■ Origem:

G: Verticais

GV: Verticais + vento

GSis: Verticais + sismo

GVSis: Verticais + vento + sismo

■ Nota:

As diferentes normas podem limitar o valor da distorção relativa entre plantas e da distorção total do edifício.

O valor absoluto utiliza-se para definir as juntas sísmicas. O valor relativo pode limitar-se em função da altura da planta 'h'. Verifica-se o valor 'Total' tomando nesse caso como valor de 'h' a altura total.

Combinações sem sismo									
Pilar	Planta	Cota (m)	h (m)	Distorção X			Distorção Y		
				Absoluta (m)	Relativa	Origem	Absoluta (m)	Relativa	Origem
P1	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV
	Piso 5	15.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0012	h / 2500	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0007	h / 5143	GV	0.0019	h / 1895	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0023	h / 8087	GV	0.0085	h / 2189	GV
P2	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV
	Piso 5	15.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0011	h / 2728	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0007	h / 5143	GV	0.0020	h / 1800	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0023	h / 8087	GV	0.0084	h / 2215	GV
P3	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV
	Piso 5	15.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0011	h / 2728	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0007	h / 5143	GV	0.0020	h / 1800	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0023	h / 8087	GV	0.0084	h / 2215	GV

Combinações sem sismo									
Pilar	Planta	Cota (m)	h (m)	Distorção X			Distorção Y		
				Absoluta (m)	Relativa	Origem	Absoluta (m)	Relativa	Origem
P4	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV
	Piso 5	15.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0011	h / 2728	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0007	h / 5143	GV	0.0020	h / 1800	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0023	h / 8087	GV	0.0084	h / 2215	GV
P5	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV
	Piso 5	15.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0012	h / 2500	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0006	h / 5000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0008	h / 4500	GV	0.0019	h / 1895	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0027	h / 6889	GV	0.0085	h / 2189	GV
P6	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV
	Piso 5	15.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0011	h / 2728	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0006	h / 5000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0008	h / 4500	GV	0.0020	h / 1800	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0027	h / 6889	GV	0.0084	h / 2215	GV
P7	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV
	Piso 5	15.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0011	h / 2728	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0006	h / 5000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0008	h / 4500	GV	0.0020	h / 1800	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0027	h / 6889	GV	0.0084	h / 2215	GV
P8	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV
	Piso 5	15.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0011	h / 2728	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0006	h / 5000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0008	h / 4500	GV	0.0020	h / 1800	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0027	h / 6889	GV	0.0084	h / 2215	GV
P9	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV

Combinações sem sismo									
Pilar	Planta	Cota (m)	h (m)	Distorção X			Distorção Y		
				Absoluta (m)	Relativa	Origem	Absoluta (m)	Relativa	Origem
	Piso 5	15.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0012	h / 2500	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0007	h / 5143	GV	0.0019	h / 1895	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0025	h / 7440	GV	0.0085	h / 2189	GV
P10	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV
	Piso 5	15.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0011	h / 2728	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0007	h / 5143	GV	0.0020	h / 1800	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0025	h / 7440	GV	0.0084	h / 2215	GV
P11	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV
	Piso 5	15.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0011	h / 2728	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0007	h / 5143	GV	0.0020	h / 1800	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0025	h / 7440	GV	0.0084	h / 2215	GV
P12	Piso 6	18.60	3.00	0.0002	----	GV	0.0010	h / 3000	GV
	Piso 5	15.60	3.00	0.0003	----	GV	0.0011	h / 2728	GV
	Piso 4	12.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0013	h / 2308	GV
	Piso 3	9.60	3.00	0.0004	h / 7500	GV	0.0015	h / 2000	GV
	Piso 2	6.60	3.00	0.0005	h / 6000	GV	0.0016	h / 1875	GV
	Piso 1	3.60	3.60	0.0007	h / 5143	GV	0.0020	h / 1800	GV
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0025	h / 7440	GV	0.0084	h / 2215	GV

Combinações com sismo									
Pilar	Planta	Cota (m)	h (m)	Distorção X			Distorção Y		
				Absoluta (m)	Relativa	Origem	Absoluta (m)	Relativa	Origem
P1	Piso 6	18.60	3.00	0.0057	h / 527	GSis	0.0081	h / 371	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0075	h / 400	GSis	0.0102	h / 295	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0098	h / 307	GSis	0.0130	h / 231	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0112	h / 268	GSis	0.0152	h / 198	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0119	h / 253	GSis	0.0166	h / 181	GSis

Combinações com sismo									
Pilar	Planta	Cota (m)	h (m)	Distorção X			Distorção Y		
				Absoluta (m)	Relativa	Origem	Absoluta (m)	Relativa	Origem
	Piso 1	3.60	3.60	0.0150	h / 240	GSis	0.0187	h / 193	GSis
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0607	h / 307	GSis	0.0814	h / 229	GSis
P2	Piso 6	18.60	3.00	0.0057	h / 527	GSis	0.0082	h / 366	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0075	h / 400	GSis	0.0103	h / 292	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0098	h / 307	GSis	0.0132	h / 228	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0112	h / 268	GSis	0.0155	h / 194	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0119	h / 253	GSis	0.0169	h / 178	GSis
	Piso 1	3.60	3.60	0.0150	h / 240	GSis	0.0193	h / 187	GSis
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0607	h / 307	GSis	0.0830	h / 225	GSis
P3	Piso 6	18.60	3.00	0.0057	h / 527	GSis	0.0082	h / 366	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0075	h / 400	GSis	0.0104	h / 289	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0098	h / 307	GSis	0.0134	h / 224	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0112	h / 268	GSis	0.0156	h / 193	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0119	h / 253	GSis	0.0170	h / 177	GSis
	Piso 1	3.60	3.60	0.0150	h / 240	GSis	0.0196	h / 184	GSis
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0607	h / 307	GSis	0.0838	h / 222	GSis
P4	Piso 6	18.60	3.00	0.0057	h / 527	GSis	0.0086	h / 349	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0075	h / 400	GSis	0.0110	h / 273	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0098	h / 307	GSis	0.0142	h / 212	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0112	h / 268	GSis	0.0166	h / 181	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0119	h / 253	GSis	0.0181	h / 166	GSis
	Piso 1	3.60	3.60	0.0150	h / 240	GSis	0.0210	h / 172	GSis
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0607	h / 307	GSis	0.0891	h / 209	GSis
P5	Piso 6	18.60	3.00	0.0082	h / 366	GSis	0.0081	h / 371	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0110	h / 273	GSis	0.0102	h / 295	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0145	h / 207	GSis	0.0130	h / 231	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0158	h / 190	GSis	0.0152	h / 198	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0171	h / 176	GSis	0.0166	h / 181	GSis
	Piso 1	3.60	3.60	0.0199	h / 181	GSis	0.0187	h / 193	GSis
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0859	h / 217	GSis	0.0814	h / 229	GSis
P6	Piso 6	18.60	3.00	0.0082	h / 366	GSis	0.0082	h / 366	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0110	h / 273	GSis	0.0103	h / 292	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0145	h / 207	GSis	0.0132	h / 228	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0158	h / 190	GSis	0.0155	h / 194	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0171	h / 176	GSis	0.0169	h / 178	GSis
	Piso 1	3.60	3.60	0.0199	h / 181	GSis	0.0193	h / 187	GSis

Combinações com sismo									
Pilar	Planta	Cota (m)	h (m)	Distorção X			Distorção Y		
				Absoluta (m)	Relativa	Origem	Absoluta (m)	Relativa	Origem
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0859	h / 217	GSis	0.0830	h / 225	GSis
P7	Piso 6	18.60	3.00	0.0082	h / 366	GSis	0.0082	h / 366	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0110	h / 273	GSis	0.0104	h / 289	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0145	h / 207	GSis	0.0134	h / 224	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0158	h / 190	GSis	0.0156	h / 193	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0171	h / 176	GSis	0.0170	h / 177	GSis
	Piso 1	3.60	3.60	0.0199	h / 181	GSis	0.0196	h / 184	GSis
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0859	h / 217	GSis	0.0838	h / 222	GSis
P8	Piso 6	18.60	3.00	0.0082	h / 366	GSis	0.0086	h / 349	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0110	h / 273	GSis	0.0110	h / 273	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0145	h / 207	GSis	0.0142	h / 212	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0158	h / 190	GSis	0.0166	h / 181	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0171	h / 176	GSis	0.0181	h / 166	GSis
	Piso 1	3.60	3.60	0.0199	h / 181	GSis	0.0210	h / 172	GSis
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0859	h / 217	GSis	0.0891	h / 209	GSis
P9	Piso 6	18.60	3.00	0.0065	h / 462	GSis	0.0081	h / 371	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0087	h / 345	GSis	0.0102	h / 295	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0113	h / 266	GSis	0.0130	h / 231	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0126	h / 239	GSis	0.0152	h / 198	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0135	h / 223	GSis	0.0166	h / 181	GSis
	Piso 1	3.60	3.60	0.0165	h / 219	GSis	0.0187	h / 193	GSis
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0688	h / 271	GSis	0.0814	h / 229	GSis
P10	Piso 6	18.60	3.00	0.0065	h / 462	GSis	0.0082	h / 366	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0087	h / 345	GSis	0.0103	h / 292	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0113	h / 266	GSis	0.0132	h / 228	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0126	h / 239	GSis	0.0155	h / 194	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0135	h / 223	GSis	0.0169	h / 178	GSis
	Piso 1	3.60	3.60	0.0165	h / 219	GSis	0.0193	h / 187	GSis
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0688	h / 271	GSis	0.0830	h / 225	GSis
P11	Piso 6	18.60	3.00	0.0065	h / 462	GSis	0.0082	h / 366	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0087	h / 345	GSis	0.0104	h / 289	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0113	h / 266	GSis	0.0134	h / 224	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0126	h / 239	GSis	0.0156	h / 193	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0135	h / 223	GSis	0.0170	h / 177	GSis
	Piso 1	3.60	3.60	0.0165	h / 219	GSis	0.0196	h / 184	GSis
	Fundação	0.00							

Combinações com sismo									
Pilar	Planta	Cota (m)	h (m)	Distorção X			Distorção Y		
				Absoluta (m)	Relativa	Origem	Absoluta (m)	Relativa	Origem
	Total		18.60	0.0688	h / 271	GSis	0.0838	h / 222	GSis
P12	Piso 6	18.60	3.00	0.0065	h / 462	GSis	0.0086	h / 349	GSis
	Piso 5	15.60	3.00	0.0087	h / 345	GSis	0.0110	h / 273	GSis
	Piso 4	12.60	3.00	0.0113	h / 266	GSis	0.0142	h / 212	GSis
	Piso 3	9.60	3.00	0.0126	h / 239	GSis	0.0166	h / 181	GSis
	Piso 2	6.60	3.00	0.0135	h / 223	GSis	0.0181	h / 166	GSis
	Piso 1	3.60	3.60	0.0165	h / 219	GSis	0.0210	h / 172	GSis
	Fundação	0.00							
	Total		18.60	0.0688	h / 271	GSis	0.0891	h / 209	GSis

Pilar	Planta	Cota (m)	Desl. X (mm)	Desl. Y (mm)	Desl. Z (mm)
P1	Piso 6	18.60	60.67	81.37	8.38
	Piso 5	15.60	55.11	73.39	8.37
	Piso 4	12.60	47.74	63.37	8.31
	Piso 3	9.60	38.05	50.48	8.20
	Piso 2	6.60	26.93	35.33	8.02
	Piso 1	3.60	15.01	18.74	7.77
	Fundação	0.00	0.00	0.00	7.35
P2	Piso 6	18.60	60.67	82.99	7.54
	Piso 5	15.60	55.11	74.94	7.52
	Piso 4	12.60	47.74	64.75	7.45
	Piso 3	9.60	38.05	51.63	7.29
	Piso 2	6.60	26.93	36.20	7.06
	Piso 1	3.60	15.01	19.33	6.71
	Fundação	0.00	0.00	0.00	6.13
P3	Piso 6	18.60	60.67	83.76	7.58
	Piso 5	15.60	55.11	75.66	7.56
	Piso 4	12.60	47.74	65.40	7.48
	Piso 3	9.60	38.05	52.16	7.33
	Piso 2	6.60	26.93	36.60	7.08
	Piso 1	3.60	15.01	19.58	6.74
	Fundação	0.00	0.00	0.00	6.14
P4	Piso 6	18.60	60.67	89.13	8.93
	Piso 5	15.60	55.11	80.64	8.92
	Piso 4	12.60	47.74	69.77	8.86
	Piso 3	9.60	38.05	55.67	8.74
	Piso 2	6.60	26.93	39.15	8.56
	Piso 1	3.60	15.01	21.04	8.30
	Fundação	0.00	0.00	0.00	7.84
P5	Piso 6	18.60	85.86	81.37	8.19

Pilar	Planta	Cota (m)	Desl. X (mm)	Desl. Y (mm)	Desl. Z (mm)
	Piso 5	15.60	77.90	73.39	8.16
	Piso 4	12.60	67.06	63.37	8.08
	Piso 3	9.60	52.73	50.48	7.92
	Piso 2	6.60	37.00	35.33	7.70
	Piso 1	3.60	19.93	18.74	7.41
	Fundação	0.00	0.00	0.00	7.03
P6	Piso 6	18.60	85.86	82.99	8.43
	Piso 5	15.60	77.90	74.94	8.37
	Piso 4	12.60	67.06	64.75	8.22
	Piso 3	9.60	52.73	51.63	7.94
	Piso 2	6.60	37.00	36.20	7.64
	Piso 1	3.60	19.93	19.33	7.21
	Fundação	0.00	0.00	0.00	6.67
P7	Piso 6	18.60	85.86	83.76	8.35
	Piso 5	15.60	77.90	75.66	8.29
	Piso 4	12.60	67.06	65.40	8.13
	Piso 3	9.60	52.73	52.16	7.85
	Piso 2	6.60	37.00	36.60	7.54
	Piso 1	3.60	19.93	19.58	7.13
	Fundação	0.00	0.00	0.00	6.46
P8	Piso 6	18.60	85.86	89.13	8.27
	Piso 5	15.60	77.90	80.64	8.24
	Piso 4	12.60	67.06	69.77	8.15
	Piso 3	9.60	52.73	55.67	7.99
	Piso 2	6.60	37.00	39.15	7.77
	Piso 1	3.60	19.93	21.04	7.47
	Fundação	0.00	0.00	0.00	7.03
P9	Piso 6	18.60	68.76	81.37	6.67
	Piso 5	15.60	62.39	73.39	6.62
	Piso 4	12.60	53.86	63.37	6.48
	Piso 3	9.60	42.63	50.48	6.26
	Piso 2	6.60	30.06	35.33	5.95
	Piso 1	3.60	16.52	18.74	5.54
	Fundação	0.00	0.00	0.00	5.02
P10	Piso 6	18.60	68.76	82.99	5.74
	Piso 5	15.60	62.39	74.94	5.71
	Piso 4	12.60	53.86	64.75	5.59
	Piso 3	9.60	42.63	51.63	5.36
	Piso 2	6.60	30.06	36.20	4.99
	Piso 1	3.60	16.52	19.33	4.50
	Fundação	0.00	0.00	0.00	3.70
P11	Piso 6	18.60	68.76	83.76	5.82
	Piso 5	15.60	62.39	75.66	5.79

Pilar	Planta	Cota (m)	Desl. X (mm)	Desl. Y (mm)	Desl. Z (mm)
	Piso 4	12.60	53.86	65.40	5.67
	Piso 3	9.60	42.63	52.16	5.43
	Piso 2	6.60	30.06	36.60	5.06
	Piso 1	3.60	16.52	19.58	4.55
	Fundação	0.00	0.00	0.00	3.74
P12	Piso 6	18.60	68.76	89.13	6.81
	Piso 5	15.60	62.39	80.64	6.75
	Piso 4	12.60	53.86	69.77	6.61
	Piso 3	9.60	42.63	55.67	6.38
	Piso 2	6.60	30.06	39.15	6.06
	Piso 1	3.60	16.52	21.04	5.64
	Fundação	0.00	0.00	0.00	5.10

AS VIGAS

Listagem de medição de vigas

Obra: Edifício Modelo em construção convencional

Data: 25-09-2010 17:46:23

Materiais:

Betão: B30 (C25/30)

Aço: A400

Materiais de fundação:

Betão: B20 (C16/20)

Aço: A400

	Tipo	A.neg. kg	A.pos. kg	A.mon. kg	A.alma kg	A.est. kg	Total kg	Ø6 kg	Ø8 kg	Ø10 kg	Ø12 kg	Ø16 kg	Ø20 kg	Ø25 kg	V.betão m³
Fundação															
*Pórtico 1															
1(P5-P6)	Fun.	54.0	208.7	19.7	18.4	125.1	425.9			163.2		54.0		208.7	4.752
*Pórtico 2															
1(P6-P7)	Rasa		9.1	3.5		7.5	20.1	2.3	5.2	3.5	9.1				0.144
*Pórtico 3															
1(P7-P8)	Fun.	46.9	208.7	19.7	18.4	125.1	418.8			163.2	5.1	41.8		208.7	4.752
*Pórtico 4															
1(P9-P10)	Fun.	178.0	160.3	19.0	18.2	102.6	478.1			139.8	7.8		330.5		4.624
2(P10-P11)	Fun.		5.9	5.7	5.8	25.7	43.1			43.1					1.280
3(P11-P12)	Fun.	7.6	181.7	19.0	18.2	102.6	329.1			139.8	7.6		181.7		4.624
Total Pórtico 4		185.6	347.9	43.7	42.2	230.9	850.3			322.7	15.4		512.2		10.528
*Pórtico 5															
1(P1-P2)	Fun.	164.3	181.7	18.9	18.4	102.6	485.9			139.9	8.3		337.7		4.608
2(P2-P3)	Fun.		10.9	5.7	5.9	25.7	48.2			48.2					1.280
3(P3-P4)	Fun.	8.0	181.7	18.9	18.4	105.9	332.9			143.2	8.0		181.7		4.608
Total Pórtico 5		172.3	374.3	43.5	42.7	234.2	867.0			331.3	16.3		519.4		10.496
*Pórtico 6															
1(P5-P9)	Fun.	100.6	152.8	16.8	15.7	105.8	391.7			138.3	5.3	13.3	234.8		4.096
2(P9-P1)	Fun.		76.4	69.7	11.0	64.2	221.3			75.2		29.0	117.1		2.688
Total Pórtico 6		100.6	229.2	86.5	26.7	170.0	613.0			213.5	5.3	42.3	351.9		6.784
*Pórtico 7															
1(P6-P10)	Fun.	94.8	161.4	24.1	23.7	102.7	406.7			126.4	24.1	10.9	245.3		4.096
2(P10-P2)	Fun.		76.8	45.4	11.0	57.7	190.9			68.7		74.4	47.8		2.688
Total Pórtico 7		94.8	238.2	69.5	34.7	160.4	597.6			195.1	24.1	85.3	293.1		6.784
*Pórtico 8															
1(P7-P11)	Fun.	91.9	149.3	24.1	23.7	99.4	388.4			123.1	24.1	9.2	232.0		4.096

	Tipo	A.neg.	A.pos.	A.mon.	A.alma	A.est.	Total	Ø6	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	V.betão
	Fun.	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m³
2(P11-P3)	Fun.		76.8	45.4	11.0	60.9	194.1								2.688
Total Pórtico 8		91.9	226.1	69.5	34.7	160.3	582.5			195.0	24.1	83.6	279.8		6.784
*Pórtico 9															
1(P8-P12)	Fun.	106.1	160.8	16.8	15.8	109.0	408.5			141.6		16.1	250.8		4.096
2(P12-P4)	Fun.		81.8	70.3	11.0	67.4	230.5			78.4			152.1		2.688
Total Pórtico 9		106.1	242.6	87.1	26.8	176.4	639.0			220.0		16.1	402.9		6.784
Total Fundação		852.2	22084.8	442.7	244.6	1389.9	5014.2	2.3	5.2	1807.5	99.4	323.1	2359.3	417.4	57.808
Piso 1															
*Pórtico 1															
1(P5-P6)	Alta	190.0	120.8	13.6		20.4	344.8	9.1	3.3	8.0	13.6		58.4	252.4	0.867
2(P6-P7)	Alta		46.8	2.8		17.1	66.7			2.8	17.1		21.8	25.0	0.240
3(P7-P8)	Alta	61.3	103.0	13.6		19.3	197.2	9.4	9.9		13.6	24.1	78.9	61.3	0.867
Total Pórtico 1		251.3	270.6	30.0		56.8	608.7	18.5	13.2	10.8	44.3	24.1	159.1	338.7	1.974
*Pórtico 2															
1(B5-B4)	Alta	3.3	3.5	5.0		3.6	15.4	3.6		6.8	5.0				0.210
*Pórtico 3															
1(P9-P10)	Alta	185.8	96.9	9.4		35.9	328.0	3.9		41.4			96.9	185.8	0.867
2(P10-P11)	Alta		71.3	2.8		17.1	91.2			2.8	17.1			71.3	0.240
3(P11-P12)	Alta	58.1	96.9	9.4		35.9	200.3	3.9		41.4			96.9	58.1	0.867
Total Pórtico 3		243.9	265.1	21.6		88.9	619.5	7.8		85.6	17.1		193.8	315.2	1.974
*Pórtico 4															
1(P1-P2)	Alta	121.4	63.8	9.4		12.3	206.9	12.3		9.4	13.0	50.8		121.4	0.864
2(P2-P3)	Alta		36.8	2.8		11.5	51.1			14.3				36.8	0.240
3(P3-P4)	Alta	32.0	63.8	9.4		12.9	118.1	12.9		9.4	13.0	50.8		32.0	0.864
Total Pórtico 4		153.4	164.4	21.6		36.7	376.1	25.2		33.1	26.0	101.6		190.2	1.968
*Pórtico 5															
1(P5-P9)	Alta	121.2	105.7	8.2		16.6	251.7	7.2	9.4	8.2			51.0	175.9	0.747
2(P9-P1)	Alta	17.8	82.3	42.9		11.8	154.8	3.0	8.8			17.8	66.8	58.4	0.504
Total Pórtico 5		139.0	188.0	51.1		28.4	406.5	10.2	18.2	8.2		17.8	117.8	234.3	1.251
*Pórtico 6															
1(P6-P10)	Alta	124.4	105.0	8.1		18.7	256.2	7.2	4.4	15.2			50.7	178.7	0.744
2(P10-P2)	Alta	45.5	110.7	18.6		15.7	190.5	3.3		12.4	18.6			156.2	0.504
Total Pórtico 6		169.9	215.7	26.7		34.4	446.7	10.5	4.4	27.6	18.6		50.7	334.9	1.248
*Pórtico 7															
1(P7-P11)	Alta	116.6	75.4	8.1		17.0	217.1	9.9		15.2		21.5		170.5	0.738
2(P11-P3)	Alta	38.7	110.7	26.3		17.2	192.9	3.0		14.2		26.3		149.4	0.504
Total Pórtico 7		155.3	186.1	34.4		34.2	410.0	12.9		29.4		47.8		319.9	1.242
*Pórtico 8															
1(P8-P12)	Alta	134.1	114.1	8.1		16.8	273.1	6.9	9.9	8.1			32.6	215.6	0.744
2(P12-P4)	Alta	35.4	111.4	35.0		14.3	196.1	3.3	11.0			35.0		146.8	0.504
Total Pórtico 8		169.5	225.5	43.1		31.1	469.2	10.2	20.9	8.1		35.0	32.6	362.4	1.248
Total Piso 1		1285.6	1518.9	233.5		314.1	3352.1	98.9	56.7	209.6	111.0	226.3	554.0	2095.6	11.115
Piso 2															
*Pórtico 1															
1(P5-P6)	Alta	165.6	76.6	13.6		18.5	274.3	9.7	8.8		13.6	37.4	39.2	165.6	0.864
2(P6-P7)	Alta		47.2	2.8		17.6	67.6			9.9	10.5		22.2	25.0	0.240
3(P7-P8)	Alta	54.7	78.5	13.6		18.5	165.3	9.7	8.8		13.6		78.5	54.7	0.864
Total Pórtico 1		220.3	202.3	30.0		54.6	507.2	19.4	17.6	9.9	37.7	37.4	139.9	245.3	1.968
*Pórtico 2															
1(B5-B4)	Alta	2.6	5.0	5.0		3.6	16.2	3.6		2.6	10.0				0.210
*Pórtico 3															
1(P9-P10)	Alta	162.1	63.2	9.4		30.5	265.2	4.8		35.1	13.0	50.2		162.1	0.864
2(P10-P11)	Alta		51.1	2.8		14.2	68.1			17.0			14.1	37.0	0.240
3(P11-P12)	Alta	55.4	63.2	9.4		32.0	160.0	4.5		36.9	13.0	50.2		55.4	0.864
Total Pórtico 3		217.5	177.5	21.6		76.7	493.3	9.3		89.0	26.0	100.4	14.1	254.5	1.968
*Pórtico 4															
1(P1-P2)	Alta	105.8	50.3	9.4		12.6	178.1	12.6		9.4		50.3	74.0	31.8	0.864
2(P2-P3)	Alta		34.3	2.8		8.8	45.9		8.8	2.8		9.3		25.0	0.240

	Tipo	A.neg. kg	A.pos. kg	A.mon. kg	A.alma kg	A.est. kg	Total kg	Ø6 kg	Ø8 kg	Ø10 kg	Ø12 kg	Ø16 kg	Ø20 kg	Ø25 kg	V.betão m³
3(P3-P4)	Alta	32.0	50.3	9.4		12.9	104.6	12.9							0.864
Total Pórtico 4		137.8	134.9	21.6		34.3	328.6	25.5	8.8	21.6		109.9	74.0	88.8	1.968
*Pórtico 5															
1(P5-P9)	Alta	107.3	75.9	8.1		14.1	205.4	10.2	3.9	8.1		21.6		161.6	0.744
2(P9-P1)	Alta	35.8	75.2	18.6		9.6	139.2	6.3	3.3		18.6		36.3	74.7	0.504
Total Pórtico 5		143.1	151.1	26.7		23.7	344.6	16.5	7.2	8.1	18.6	21.6	36.3	236.3	1.248
*Pórtico 6															
1(P6-P10)	Alta	104.5	66.7	8.1		14.9	194.2	10.5	4.4	8.1		32.4	34.3	104.5	0.738
2(P10-P2)	Alta	45.4	82.3	14.0		13.3	155.0	3.6	4.4	5.3	14.0		23.9	103.8	0.504
Total Pórtico 6		149.9	149.0	22.1		28.2	349.2	14.1	8.8	13.4	14.0	32.4	58.2	208.3	1.242
*Pórtico 7															
1(P7-P11)	Alta	106.2	66.7	8.1		14.9	195.9	10.5	4.4	8.1		32.4	34.3	106.2	0.738
2(P11-P3)	Alta	45.8	82.3	14.0		13.6	155.7	3.9	4.4	5.3	14.0		23.9	104.2	0.504
Total Pórtico 7		152.0	149.0	22.1		28.5	351.6	14.4	8.8	13.4	14.0	32.4	58.2	210.4	1.242
*Pórtico 8															
1(P8-P12)	Alta	120.2	88.3	8.1		14.3	230.9	9.9	4.4	8.1			34.0	174.5	0.744
2(P12-P4)	Alta	36.4	82.3	26.0		10.5	155.2	3.3	7.2			26.0	23.9	94.8	0.504
Total Pórtico 8		156.6	170.6	34.1		24.8	386.1	13.2	11.6	8.1		26.0	57.9	269.3	1.248
Total Piso 2		1179.8	1139.4	183.2		274.4	2776.8	116.0	62.8	166.1	120.3	360.1	438.6	1512.9	11.094
Piso 3															
*Pórtico 1															
1(P5-P6)	Alta	135.2	76.7	9.4		16.8	238.1	12.4	4.4	9.4		37.2	39.5	135.2	0.864
2(P6-P7)	Alta	7.9	29.5	2.8		8.8	49.0		8.8	2.8		14.0	15.5	7.9	0.240
3(P7-P8)	Alta	53.7	76.9	9.4		16.8	156.8	12.4	4.4	9.4		37.4	39.5	53.7	0.864
Total Pórtico 1		196.8	183.1	21.6		42.4	443.9	24.8	17.6	21.6		88.6	94.5	196.8	1.968
*Pórtico 2															
1(B5-B4)	Alta	2.7	3.5	5.0		3.6	14.8	3.6		6.2	5.0				0.210
*Pórtico 3															
1(P9-P10)	Alta	128.5	63.2	9.4		26.3	227.4	5.1	8.8	21.8	13.0	50.2		128.5	0.864
2(P10-P11)	Alta	9.8	29.7	2.8		7.7	50.0		7.7	2.8		14.2	15.5	9.8	0.240
3(P11-P12)	Alta	49.5	63.2	9.4		26.3	148.4	5.1	8.8	21.8	13.0	50.2		49.5	0.864
Total Pórtico 3		187.8	156.1	21.6		60.3	425.8	10.2	25.3	46.4	26.0	114.6	15.5	187.8	1.968
*Pórtico 4															
1(P1-P2)	Alta	86.1	45.3	9.4		12.3	153.1	12.3		9.4	20.2	25.1	56.9	29.2	0.864
2(P2-P3)	Alta		29.7	2.8		6.1	38.6		6.1	2.8		14.2	15.5		0.240
3(P3-P4)	Alta	29.6	45.3	9.4		12.3	96.6	12.3		9.4	20.2	25.1		29.6	0.864
Total Pórtico 4		115.7	120.3	21.6		30.7	288.3	24.6	6.1	21.6	40.4	64.4	72.4	58.8	1.968
*Pórtico 5															
1(P5-P9)	Alta	85.3	67.5	8.1		13.2	174.1	9.9	3.3	8.1		32.7	76.0	44.1	0.744
2(P9-P1)	Alta	18.9	57.8	18.6		7.5	102.8	7.5			18.6	18.9		57.8	0.504
Total Pórtico 5		104.2	125.3	26.7		20.7	276.9	17.4	3.3	8.1	18.6	51.6	76.0	101.9	1.248
*Pórtico 6															
1(P6-P10)	Alta	83.4	55.1	8.1		14.1	160.7	10.2	3.9	8.1	11.2	43.9		83.4	0.738
2(P10-P2)	Alta	35.4	61.6	14.0		11.1	122.1	3.9	7.2		14.0		61.6	35.4	0.504
Total Pórtico 6		118.8	116.7	22.1		25.2	282.8	14.1	11.1	8.1	25.2	43.9	61.6	118.8	1.242
*Pórtico 7															
1(P7-P11)	Alta	84.4	55.5	8.1		13.8	161.8	9.9	3.9	8.1	11.6	43.9		84.4	0.738
2(P11-P3)	Alta	35.4	61.6	14.0		11.1	122.1	3.9	7.2		14.0		61.6	35.4	0.504
Total Pórtico 7		119.8	117.1	22.1		24.9	283.9	13.8	11.1	8.1	25.6	43.9	61.6	119.8	1.242
*Pórtico 8															
1(P8-P12)	Alta	101.7	75.9	8.1		13.2	198.9	9.9	3.3	8.1		21.6		156.0	0.744
2(P12-P4)	Alta	18.6	63.1	26.0		8.7	116.4	8.7				44.6	24.2	38.9	0.504
Total Pórtico 8		120.3	139.0	34.1		21.9	315.3	18.6	3.3	8.1		66.2	24.2	194.9	1.248
Total Piso 3		966.1	961.1	174.8		229.7	2331.7	127.1	77.8	128.2	140.8	473.2	405.8	978.8	11.094
Piso 4															
*Pórtico 1															
1(P5-P6)	Alta	85.1	63.5	9.4		15.1	173.1	11.8	3.3	9.4	13.0	50.5	41.2	43.9	0.864
2(P6-P7)	Alta	11.1	7.2	2.8		3.0	24.1	3.0		4.6	5.4		11.1		0.240

	Tipo	A.neg. kg	A.pos. kg	A.mon. kg	A.alma kg	A.est. kg	Total kg	Ø6 kg	Ø8 kg	Ø10 kg	Ø12 kg	Ø16 kg	Ø20 kg	Ø25 kg	V.betão m³
3(P7-P8)	Alta	44.3	63.8	9.4		15.1	132.6	11.8	3.3	9.4	13.0	50.8		44.3	0.864
Total Pórtico 1		140.5	134.5	21.6		33.2	329.8	26.6	6.6	23.4	31.4	101.3	52.3	88.2	1.968
*Pórtico 2 1(B5-B4)	Alta	2.8	3.5	5.0		3.6	14.9	3.6		6.3	5.0				0.210
*Pórtico 3 1(P9-P10)	Alta	110.9	41.3	9.4		20.9	182.5	6.0	14.9	9.4	41.3			110.9	0.864
2(P10-P11)	Alta	17.7	24.6	2.8		4.5	49.6	4.5		2.8	5.0	19.6		17.7	0.240
3(P11-P12)	Alta	47.0	41.3	9.4		22.7	120.4	5.4	6.6	20.1	41.3			47.0	0.864
Total Pórtico 3		175.6	107.2	21.6		48.1	352.5	15.9	21.5	32.3	87.6	19.6		175.6	1.968
*Pórtico 4 1(P1-P2)	Alta	60.2	31.6	9.4		12.0	113.2	12.0		9.4	6.5	53.7	31.6		0.864
2(P2-P3)	Alta	7.1	17.9	2.8		3.3	31.1	3.3		2.8	8.0	17.0			0.240
3(P3-P4)	Alta	21.8	34.1	9.4		12.3	77.6	12.3		18.4		46.9			0.864
Total Pórtico 4		89.1	83.6	21.6		27.6	221.9	27.6		30.6	14.5	117.6	31.6		1.968
*Pórtico 5 1(P5-P9)	Alta	72.0	55.7	8.1		12.1	147.9	12.1		8.1	11.2	44.5	32.1	39.9	0.744
2(P9-P1)	Alta	16.8	39.5	9.3		7.2	72.8	7.2			16.9	48.7			0.504
Total Pórtico 5		88.8	95.2	17.4		19.3	220.7	19.3		8.1	28.1	93.2	32.1	39.9	1.248
*Pórtico 6 1(P6-P10)	Alta	56.8	36.9	8.1		12.4	114.2	12.4		8.1	36.9	18.9	37.9		0.738
2(P10-P2)	Alta	18.9	39.8	9.3		7.2	75.2	7.2			17.5	50.5			0.504
Total Pórtico 6		75.7	76.7	17.4		19.6	189.4	19.6		8.1	54.4	69.4	37.9		1.242
*Pórtico 7 1(P7-P11)	Alta	57.0	36.9	8.1		12.4	114.4	12.4		8.1	36.9	18.9	38.1		0.738
2(P11-P3)	Alta	19.4	46.7	9.3		7.5	82.9	7.5			9.3	41.4	24.7		0.504
Total Pórtico 7		76.4	83.6	17.4		19.9	197.3	19.9		8.1	46.2	60.3	62.8		1.242
*Pórtico 8 1(P8-P12)	Alta	77.6	55.7	8.1		12.1	153.5	12.1		8.1	11.2	51.3	30.3	40.5	0.744
2(P12-P4)	Alta	19.4	48.1	9.3		7.2	84.0	7.2			9.3	42.6	24.9		0.504
Total Pórtico 8		97.0	103.8	17.4		19.3	237.5	19.3		8.1	20.5	93.9	55.2	40.5	1.248
Total Piso 4		745.9	688.1	139.4		190.6	1764.0	151.8	28.1	125.0	287.7	555.3	271.9	344.2	11.094
Piso 5															
*Pórtico 1 1(P5-P6)	Alta	65.9	34.3	9.4		13.9	123.5	13.9		18.4		32.2	28.1	30.9	0.864
2(P6-P7)	Alta	6.9	5.2	2.8		3.0	17.9	3.0		2.8	5.2	6.9			0.240
3(P7-P8)	Alta	31.3	34.4	9.4		13.9	89.0	13.9		18.4		25.4		31.3	0.864
Total Pórtico 1		104.1	73.9	21.6		30.8	230.4	30.8		39.6	5.2	64.5	28.1	62.2	1.968
*Pórtico 2 1(B5-B4)	Alta	2.8	3.5	5.0		3.6	14.9	3.6		6.3	5.0				0.210
*Pórtico 3 1(P9-P10)	Alta	69.0	32.4	9.4		15.4	126.2	9.9	5.5	9.4		32.4	38.4	30.6	0.864
2(P10-P11)	Alta	11.6	9.0	2.8		2.7	26.1	2.7		6.4	5.4		11.6		0.240
3(P11-P12)	Alta	36.2	32.4	9.4		15.4	93.4	9.9	5.5	9.4		32.4		36.2	0.864
Total Pórtico 3		116.8	73.8	21.6		33.5	245.7	22.5	11.0	25.2	5.4	64.8	50.0	66.8	1.968
*Pórtico 4 1(P1-P2)	Alta	59.7	27.1	9.4		11.7	107.9	11.7		9.4	30.4	11.6	44.8		0.864
2(P2-P3)	Alta		7.1	2.8		2.7	12.6	2.7		4.5	5.4				0.240
3(P3-P4)	Alta	14.9	27.1	9.4		11.7	63.1	11.7		9.4	30.4	11.6			0.864
Total Pórtico 4		74.6	61.3	21.6		26.1	183.6	26.1		23.3	66.2	23.2	44.8		1.968
*Pórtico 5 1(P5-P9)	Alta	48.3	30.2	8.1		11.5	98.1	11.5		16.2		42.7	27.7		0.744
2(P9-P1)	Alta	10.9	24.0	5.7		7.2	47.8	7.2		5.7	8.2	26.7			0.504
Total Pórtico 5		59.2	54.2	13.8		18.7	145.9	18.7		21.9	8.2	69.4	27.7		1.248
*Pórtico 6 1(P6-P10)	Alta	39.7	33.0	8.1		11.5	92.3	11.5		8.1	11.2	34.1	27.4		0.738
2(P10-P2)	Alta	12.0	23.3	5.7		6.9	47.9	6.9		5.7		35.3			0.504
Total Pórtico 6		51.7	56.3	13.8		18.4	140.2	18.4		13.8	11.2	69.4	27.4		1.242
*Pórtico 7 1(P7-P11)	Alta	40.4	30.9	8.1		11.5	90.9	11.5		8.1	33.7	10.2	27.4		0.738

	Tipo	A.neg. kg	A.pos. kg	A.mon. kg	A.alma kg	A.est. kg	Total kg	Ø6 kg	Ø8 kg	Ø10 kg	Ø12 kg	Ø16 kg	Ø20 kg	Ø25 kg	V.betão m³
2(P11-P3)	Alta	12.3	23.3	5.7		6.9	48.2	6.9		5.7					0.504
Total Pórtico 7		52.7	54.2	13.8		18.4	139.1	18.4		13.8	33.7	45.8	27.4		1.242
*Pórtico 8															
1(P8-P12)	Alta	54.7	30.2	8.1		11.5	104.5	11.5		16.2		28.9	19.0	28.9	0.744
2(P12-P4)	Alta	12.3	25.4	5.7		7.2	50.6	7.2		5.7	25.4	12.3			0.504
Total Pórtico 8		67.0	55.6	13.8		18.7	155.1	18.7		21.9	25.4	41.2	19.0	28.9	1.248
Total Piso 5		528.9	432.8	125.0		168.2	1254.9	157.2	11.0	165.8	160.3	378.3	224.4	157.9	11.094
Piso 6															
*Pórtico 1															
1(P5-P6)	Alta	32.0	23.3	9.4		11.8	76.5	11.8		9.4	30.2	25.1			0.864
2(P6-P7)	Alta		2.8	2.8		3.0	8.6	3.0		5.6					0.240
3(P7-P8)	Alta	6.9	23.3	9.4		11.8	51.4	11.8		9.4	30.2				0.864
Total Pórtico 1		38.9	49.4	21.6		26.6	136.5	26.6		24.4	60.4	25.1			1.968
*Pórtico 2															
1(P9-P10)	Alta	28.7	27.7	9.4		11.2	77.0	11.2		9.4	9.2	47.2			0.864
2(P10-P11)	Alta	7.1	2.8	2.8		2.7	15.4	2.7		5.6		7.1			0.240
3(P11-P12)	Alta	6.5	27.7	9.4		11.2	54.8	11.2		9.4	3.7	30.5			0.864
Total Pórtico 2		42.3	58.2	21.6		25.1	147.2	25.1		24.4	12.9	84.8			1.968
*Pórtico 3															
1(P1-P2)	Alta	19.7	18.1	9.4		11.2	58.4	11.2		9.4	37.8				0.864
2(P2-P3)	Alta	3.9	2.8	2.8		2.7	12.2	2.7		5.6	3.9				0.240
3(P3-P4)	Alta	5.3	18.1	9.4		11.2	44.0	11.2		9.4	23.4				0.864
Total Pórtico 3		28.9	39.0	21.6		25.1	114.6	25.1		24.4	65.1				1.968
*Pórtico 4															
1(P5-P9)	Alta	13.5	15.7	8.1		9.9	47.2	9.9		8.1	29.2				0.744
2(P9-P1)	Alta	2.1	8.2	5.7		6.6	22.6	6.6		7.8	8.2				0.504
Total Pórtico 4		15.6	23.9	13.8		16.5	69.8	16.5		15.9	37.4				1.248
*Pórtico 5															
1(P6-P10)	Alta	15.1	20.3	8.1		9.7	53.2	9.7		10.2	20.3	13.0			0.738
2(P10-P2)	Alta	1.8	8.2	5.7		6.0	21.7	6.0		7.5	8.2				0.504
Total Pórtico 5		16.9	28.5	13.8		15.7	74.9	15.7		17.7	28.5	13.0			1.242
*Pórtico 6															
1(P7-P11)	Alta	15.1	20.3	8.1		9.7	53.2	9.7		10.2	20.3	13.0			0.738
2(P11-P3)	Alta	1.8	8.2	5.7		6.0	21.7	6.0		7.5	8.2				0.504
Total Pórtico 6		16.9	28.5	13.8		15.7	74.9	15.7		17.7	28.5	13.0			1.242
*Pórtico 7															
1(P8-P12)	Alta	13.5	15.6	8.1		9.9	47.1	9.9		8.1	29.1				0.744
2(P12-P4)	Alta	2.2	8.2	5.7		6.6	22.7	6.6		7.9	8.2				0.504
Total Pórtico 7		15.7	23.8	13.8		16.5	69.8	16.5		16.0	37.3				1.248
Total Piso 6		175.2	251.3	120.0		141.2	687.7	141.2		140.5	270.1	135.9			10.884
Total Obra		5733.7	77076.4	1418.6		244.6	2708.1	17181.4	794.5	241.6	2742.7	1189.6	2452.2	4254.0	5506.8

- A.neg.: Armadura negativa
- A.pos.: Armadura positiva
- A.mon.: Armadura montagem
- A.alma: Armadura alma
- A.est.: Armadura estribos

Listagem de medição de vigas

Obra: Edifício Modelo em construção convencional

Data: 25-09-2010 17:46:23

Materiais:

Betão: B30 (C25/30)

Aço: A400

Materiais de fundação:

Betão: B20 (C16/20)

Aço: A400

Resumo de medição (+10%)

	Tipo Aço	Ø6 kg	Ø8 kg	Ø10 kg	Ø12 kg	Ø16 kg	Ø20 kg	Ø25 kg	Total kg
Fundação	A400	2.5	5.7	1988.3	109.3	355.4	2595.2	459.1	5515.6
Piso 1	A400	108.8	62.4	230.6	122.1	248.9	609.4	2305.2	3687.3
Piso 2	A400	127.6	69.1	182.7	132.3	396.1	482.5	1664.2	3054.5
Piso 3	A400	139.8	85.6	141.0	154.9	520.5	446.4	1076.7	2564.9
Piso 4	A400	167.0	30.9	137.5	316.5	610.8	299.1	378.6	1940.4
Piso 5	A400	172.9	12.1	182.4	176.3	416.1	246.8	173.7	1380.4
Piso 6	A400	155.3		154.6	297.1	149.5			756.5
Total Obra		874.0	265.8	3017.0	1308.6	2697.4	4679.4	6057.5	18899.5

COEFICIENTE DE PARTICIPAÇÃO

	T	Lx	Ly	Lgz	Mx	My	Hipóteses X (1)	Hipóteses X (2)	Hipóteses Y (1)	Hipóteses Y (2)
Modo 1	0.99	0.028	0.970	0.240	0.07	89.84	R = 2.5 A = 0.537 m/s ² D = 13.5385 mm	R = 2.5 A = 0.935 m/s ² D = 23.5729 mm	R = 2.5 A = 0.537 m/s ² D = 13.5385 mm	R = 2.5 A = 0.935 m/s ² D = 23.5729 mm
Modo 2	0.94	0.614	0.023	0.788	84.77	0.12	R = 2.5 A = 0.568 m/s ² D = 12.8151 mm	R = 2.5 A = 0.954 m/s ² D = 21.5366 mm	R = 2.5 A = 0.568 m/s ² D = 12.8151 mm	R = 2.5 A = 0.954 m/s ² D = 21.5366 mm
Modo 3	0.79	0.038	0.016	0.999	4.82	0.08	R = 2.5 A = 0.675 m/s ² D = 10.6872 mm	R = 2.5 A = 0.974 m/s ² D = 15.4029 mm	R = 2.5 A = 0.675 m/s ² D = 10.6872 mm	R = 2.5 A = 0.974 m/s ² D = 15.4029 mm
Modo 4	0.30	0.441	0.045	0.896	8.67	0.09	R = 2.5 A = 1.38 m/s ² D = 3.34507 mm	R = 2.5 A = 0.94 m/s ² D = 2.27725 mm	R = 2.5 A = 1.38 m/s ² D = 3.34507 mm	R = 2.5 A = 0.94 m/s ² D = 2.27725 mm
Modo 5	0.30	0.099	0.985	0.14	0.1	9.37	R = 2.5 A = 1.39 m/s ² D = 3.27327 mm	R = 2.5 A = 0.94 m/s ² D = 2.21245 mm	R = 2.5 A = 1.39 m/s ² D = 3.27327 mm	R = 2.5 A = 0.94 m/s ² D = 2.21245 mm
Modo 6	0.25	0.056	0.003	0.998	1.02	0	R = 2.5 A = 1.497 m/s ² D = 2.42996 mm	R = 2.5 A = 0.94 m/s ² D = 1.52559 mm	R = 2.5 A = 1.497 m/s ² D = 2.42996 mm	R = 2.5 A = 0.94 m/s ² D = 1.52559 mm

- T = Período de vibração em segundos.
- Lx, Ly, Lgz = Coeficientes de participação normalizados em cada direcção da análise.
- Mx, My = Percentagem de massa deslocada por cada modo em cada direcção da análise.
- R = Relação entre a aceleração de cálculo usando a ductilidade atribuída à estrutura e à aceleração de cálculo obtida sem ductilidade.
- A = Aceleração de cálculo, incluindo a ductilidade.
- D = Coeficiente do modo, equivale ao deslocamento máximo do grau de liberdade dinâmico.

Massa total deslocada	
Massa X	99.45 %
Massa Y	99.51 %

CARGAS HORIZONTAIS DE VENTO (kN)

Planta Vento X Vento Y		
Piso 6	9.084	18.168
Piso 5	17.138	34.276
Piso 4	16.845	33.691
Piso 3	16.845	33.691
Piso 2	16.845	33.691
Piso 1	19.091	38.183

VERIFICAÇÃO

1. Materiais

1.1. Betão

B30 (C25/30); $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$; $\gamma_c = 1.50$

1.2. Aços por elemento

1.2.1. Aços em varões

Elemento	Posição	Aço	Fyk (MPa)	γ_s
Pilares e paredes	Varões(Verticais)	A400	400	1.15
	Estribos(Horizontais)	A400	400	1.15

1.2.2. Aços em perfis

Tipo de aço para perfis	Aço	Limite elástico (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Aços enformados	Fe 360	235	206
Aços laminados	Fe 360	235	206

2. Armaduras de pilares e paredes

2.1. Pilares

■ Pl: Número de piso.

■ Tramo: Nível inicial / nível final do tramo entre pisos.

■ Armaduras:

Primeira armadura: Armadura de canto (perfil se é pilar metálico).

Segunda armadura: Armadura da face X.

Terceira armadura: Armadura da face Y.

Pila	Pl	Dimensã r o	Tramo	Armaduras	Estribo Est s .	H HpxHpy	Desfavoráveis			Referência		
							N	Mx	My	N	Mx	My
P1	60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6 2.6 2.6	81.9 51.1 16.4	81.9	49.5	14.8			

Pila	ID	Dimensão	Tramo	Armaduras	Estribo	Est	Desfavoráveis			Referência		
							H	Hpx	Hpy	N	Mx	My
P2		50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	172.9	78.8	31.6	172.9
		40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	313.1	90.9	53.2	313.1
		30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø16+2Ø12+2Ø16	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	107.7	30.2	97.3	107.7
		20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø20+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	90.4	39.4	111.5	90.4
		10.40x0.40	0.00/3.40	4Ø20+4Ø16+4Ø16	Ø6c/20	3.4	3.4	3.4	64.5	1.3	174.8	64.5
		60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	117.1	37.6	29.9	117.1
		50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	197.6	103.1	16.4	197.6
		40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø16+4Ø12+4Ø16	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	238.5	143.2	14.4	238.5
		30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø20+2Ø16+2Ø20	Ø6c/20	2.6	2.6	2.6	216.9	164.4	6.7	216.9
		20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø20+4Ø12+4Ø20	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	938.3	53.0	189.3	938.3
		10.40x0.40	0.00/3.40	4Ø25+2Ø20+2Ø20	Ø8c/25	3.4	3.4	3.4	1207.7	228.5	30.2	1207.7
		60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	108.6	48.2	21.4	108.6
P3		50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	202.8	102.9	24.9	202.8
		40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø16+4Ø12+4Ø16	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	251.3	142.9	22.3	251.3
		30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø20+2Ø16+2Ø20	Ø6c/20	2.6	2.6	2.6	248.9	164.5	22.5	248.9
		20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø20+4Ø12+4Ø20	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	953.0	54.9	191.7	953.0
		10.40x0.40	0.00/3.40	4Ø25+2Ø20+2Ø20	Ø8c/25	3.4	3.4	3.4	1173.7	227.7	38.9	1173.7
		60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	82.3	50.9	15.3	82.3
		50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	169.9	79.0	28.5	169.9
		40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	335.2	33.5	113.9	335.2
		30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø16+2Ø16+2Ø16	Ø6c/20	2.6	2.6	2.6	106.0	32.0	106.9	106.0
		20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø16+4Ø12+4Ø16	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	735.7	71.9	153.7	735.7
		10.40x0.40	0.00/3.40	4Ø25+4Ø16+4Ø16	Ø8c/20	3.4	3.4	3.4	931.8	120.3	183.9	931.8
		60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	139.5	74.6	58.6	139.5
P4		50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	233.1	121.3	8.3	233.1
		40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø20+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	385.2	150.2	25.4	385.2
		30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø20+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	648.9	56.9	140.5	648.9
		20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø20+2Ø16+2Ø16	Ø6c/20	2.6	2.6	2.6	863.6	97.0	145.5	863.6
		10.45x0.45	0.00/3.40	4Ø25+6Ø25	Ø8c/30	3.4	3.4	3.4	641.9	398.0	106.3	641.9
		60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	139.5	74.6	58.6	139.5
		50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+2Ø12+2Ø16	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	233.1	121.3	8.3	233.1
		40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø20+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	385.2	150.2	25.4	385.2
		30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø20+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	648.9	56.9	140.5	648.9
		20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø20+2Ø16+2Ø16	Ø6c/20	2.6	2.6	2.6	863.6	97.0	145.5	863.6
		10.45x0.45	0.00/3.40	4Ø25+6Ø25	Ø8c/30	3.4	3.4	3.4	641.9	398.0	106.3	641.9
		60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	139.5	74.6	58.6	139.5
		50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+2Ø12+2Ø16	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	233.1	121.3	8.3	233.1

Pila	ID	Dimensão	Tramo	Armaduras	Estribo	Est	Desfavoráveis			Referência				
							H	Hpx	Hpy	N	Mx	My	N	Mx
P6	60.30x0.30	15.80/18.40	4Ø16+	2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	154.8	45.7	26.6	154.8	42.6	23.5
	50.30x0.30	12.80/15.40	4Ø20+	2Ø12+2Ø20	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	286.6	92.8	36.0	286.6	87.0	30.3
	40.30x0.30	9.80/12.40	4Ø25+	2Ø25	Ø8c/30	2.6	2.6	2.6	439.3	112.8	40.5	439.3	104.0	31.7
	30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø25+	2Ø16+2Ø25	Ø8c/20	2.6	2.6	2.6	478.8	229.8	46.3	478.8	220.3	36.7
	20.45x0.45	3.80/6.40	4Ø25+	2Ø16+2Ø25	Ø8c/20	2.6	2.6	2.6	487.3	214.4	44.1	487.3	204.6	34.4
	10.45x0.45	0.00/3.40	4Ø25+	2Ø16+4Ø25	Ø8c/20	3.4	3.4	3.4	1244.5	346.7	82.4	1244.5	321.8	57.5
	60.30x0.30	15.80/18.40	4Ø16+	2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	153.0	47.0	26.4	153.0	44.0	23.4
P7	50.30x0.30	12.80/15.40	4Ø20+	2Ø16+2Ø20	Ø6c/20	2.6	2.6	2.6	283.0	95.7	35.3	283.0	90.0	29.6
	40.30x0.30	9.80/12.40	4Ø25+	2Ø25	Ø8c/30	2.6	2.6	2.6	416.8	116.8	36.0	416.8	108.5	27.7
	30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø25+	2Ø16+2Ø25	Ø8c/20	2.6	2.6	2.6	457.3	229.3	39.4	457.3	220.2	30.3
	20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø25+	2Ø25+4Ø20	Ø8c/25	2.6	2.6	2.6	432.7	256.3	43.6	432.7	247.7	35.0
	10.40x0.40	0.00/3.40	4Ø25+	2Ø16+4Ø25	Ø8c/20	3.4	3.4	3.4	1247.3	288.0	46.0	1247.3	263.0	21.1
	60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+	2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	139.9	75.4	65.3	139.9	72.6	62.5
	50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+	2Ø16+2Ø16	Ø6c/20	2.6	2.6	2.6	282.0	45.9	115.1	282.0	40.3	109.4
P8	40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø20+	2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	411.8	151.8	21.6	411.8	143.6	13.4
	30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø20+	2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	668.9	46.4	151.1	668.9	33.0	137.8
	20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø20+	2Ø20+2Ø20	Ø6c/25	2.6	2.6	2.6	885.0	92.2	165.5	885.0	74.5	147.8
	10.45x0.40	0.00/3.40	4Ø25+	4Ø20+4Ø25	Ø8c/25	3.4	3.4	3.4	631.5	360.9	72.2	631.5	348.2	59.6
	60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+	2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	173.0	98.2	33.5	173.0	94.8	30.1
	50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+	4Ø12+4Ø16	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	410.3	143.1	68.4	410.3	134.9	60.2
	40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø25+	2Ø16+2Ø16	Ø8c/20	2.6	2.6	2.6	664.9	170.6	94.9	664.9	157.3	81.6
P9	30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø25+	2Ø16+2Ø16	Ø8c/20	2.6	2.6	2.6	925.6	175.6	101.2	925.6	157.1	82.7
	20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø25+	4Ø16+4Ø16	Ø8c/20	2.6	2.6	2.6	1199.0	190.1	121.2	1199.0	166.1	97.2
	10.45x0.45	0.00/3.40	4Ø25+	6Ø20+4Ø25	Ø8c/25	3.4	3.4	3.4	1314.0	92.4	392.9	1314.0	66.1	366.6
	60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+	2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	232.0	39.9	81.4	232.0	35.3	76.8
	50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+	4Ø12+4Ø16	Ø6c/15	2.6	2.6	2.6	471.9	52.9	150.6	471.9	43.5	141.2
	40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø25+	2Ø20+2Ø20	Ø8c/25	2.6	2.6	2.6	689.4	65.6	204.4	689.4	51.8	190.6
	30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø25+	2Ø25+2Ø25	Ø8c/30	2.6	2.6	2.6	905.0	71.4	241.8	905.0	53.3	223.7
P10	20.45x0.45	3.80/6.40	4Ø25+	2Ø16+4Ø25	Ø8c/20	2.6	2.6	2.6	917.4	68.4	228.1	917.4	50.0	209.8

Pila	PI	Dimensão	Tramo	Armaduras	Estribo	Est	Desfavoráveis			Referência		
							H	H _p	H _{py}	N	M _x	M _y
P11		10.45x0.45	0.00/3.40	4Ø25+	Ø8c/	25	3.4	3.4	3.4	2243.	402.	49.4
				10Ø20+4Ø25		25	0	0	0	8	7	8
		60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+	Ø6c/	15	2.6	2.6	2.6	231.0	38.8	82.6
				2Ø12+2Ø12		15	0	0	0	231.0	34.2	78.0
		50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+	Ø6c/	15	2.6	2.6	2.6	478.4	51.6	153.
				4Ø12+4Ø16		15	0	0	0	4	4	8
		40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø25+	Ø8c/	25	2.6	2.6	2.6	696.4	54.2	210.
				2Ø20+2Ø20		25	0	0	0	0	40.3	196.
												1
		30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø25+	Ø8c/	20	2.6	2.6	2.6	927.8	58.3	245.
P12				4Ø16+4Ø16		20	0	0	0	8	8	2
		20.45x0.45	3.80/6.40	4Ø25+	Ø8c/	20	2.6	2.6	2.6	941.2	55.8	233.
				2Ø16+4Ø25		20	0	0	0	6	6	7
		10.45x0.45	0.00/3.40	4Ø25+	Ø8c/	25	3.4	3.4	3.4	1836.	55.0	426.
				4Ø25+10Ø20		25	0	0	0	4	4	7
		60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+	Ø6c/	15	2.6	2.6	2.6	172.4	101.	36.2
				2Ø12+2Ø16		15	0	0	0	2	2	7
		50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+	Ø6c/	15	2.6	2.6	2.6	431.2	145.	68.5
				4Ø12+4Ø16		15	0	0	0	5	5	8
		40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø20+	Ø6c/	25	2.6	2.6	2.6	699.3	172.	82.3
				2Ø20+2Ø20		25	0	0	0	1	1	1
		30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø20+	Ø6c/	20	2.6	2.6	2.6	757.4	73.3	214.
				4Ø20+4Ø16		20	0	0	0	8	8	6
		20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø25+	Ø8c/	30	2.6	2.6	2.6	924.9	81.9	235.
				2Ø25+2Ø25		30	0	0	0	0	0	5
		10.45x0.45	0.00/3.40	4Ø25+	Ø8c/	25	3.4	3.4	3.4	1337.	105.	438.
							2	9	1	2	2	4

3. Verificação da resistência ao esforço transversal em pilares de betão

- PI: Número de piso.
- Tramo: Nível inicial / nível final do tramo entre pisos.
- Armaduras:
Primeira armadura: Armadura de canto (perfil se é pilar metálico).
Segunda armadura: Armadura da face X.
Terceira armadura: Armadura da face Y.
- Estribos: Indica-se apenas o estribo perimetral disposto. Se existirem outros estribos e ramos deve consultar o desenho do quadro de pilares. Podem existir distintas separações na cabeça, pé e nó, que pode consultar em opções e pormenorização de pilares. A separação está indicada em centímetros.
- Desfavoráveis: Esforços transversos (majorados) correspondentes à combinação que produz o estado de tensões tangenciais mais desfavorável.
 - Nsd: Axial de cálculo [(+) compressão, (-) tração] (kN)
 - Vsd_x, Vsd_y: Esforço transversal de cálculo em cada direcção (kN)
 - Vrd1_x, Vrd1_y: Em cada direcção, Vrd1 = τ₂.bw.d (kN)
 - Vrd2_x, Vrd2_y: Em cada direcção, Vrd2 = Vcd.(1+Mo/Msd)+Vwd (kN)
 - Verificação da interacção nas duas direcções (CC):

$$\sqrt{\left(V_{sd1x} / V_{rd1x}\right)^2 + \left(V_{sd1y} / V_{rd1y}\right)^2} \leq 1.00$$

$$\sqrt{\left(V_{sd2x} / V_{rd2x}\right)^2 + \left(V_{sd2y} / V_{rd2y}\right)^2} \leq 1.00$$

- Origem dos esforços desfavoráveis:

G: Verticais

GV: Verticais + vento

GSis: Verticais + sismo

GVSis: Verticais + vento + sismo

■ Verifica:

Sim: Indica que o valor de CC é ≤ 1 para as duas verificações

Não: Indica que o valor de CC é > 1 para alguma das duas verificações ou que a separação de estribos é maior que a exigida pela norma

■ Nota:

Os esforços referem-se aos eixos locais do pilar.

Desfavoráveis													
Pila	Dimens	Tramo	Armaduras	Estrib	Nsd	Vsdx	Vrd1x	Vrd2x	Vsdy	Vrd1y	Vrd2y	CC	Orige Verific
r	ão			os									m a
P1	60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	61.19	-37.97	733.3	181.2	-7.40	733.3	214.9	0.0	0.2 GSis Sim
	50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	170.25	-51.73	733.3	188.7	-15.00	733.3	225.1	0.0	0.2 GSis Sim
	40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	304.10	-66.19	733.3	196.1	-22.86	733.3	243.4	0.1	0.3 GSis Sim
	30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø16+2Ø12+2Ø16	Ø6c/15	102.63	-20.94	732.0	198.6	68.09	733.3	180.5	0.1	0.3 GSis Sim
	20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø20+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	81.39	-26.00	730.6	191.6	84.22	730.6	177.5	0.1	0.4 GSis Sim
	10.40x0.40	0.00/3.40	4Ø20+4Ø16	Ø6c/20	43.80	-11.50	730.0	184.6	81.77	730.0	175.0	0.1	0.4 GSis Sim
	P2	60.40x0.40	15.80/18.40	Ø6c/15	77.65	13.51	733.3	198.1	-27.23	733.3	186.4	0.0	0.1 GSis Sim
		50.40x0.40	12.80/15.40	Ø6c/15	198.33	71.74	733.3	187.1	-10.49	733.3	275.9	0.1	0.3 GSis Sim
		40.40x0.40	9.80/12.40	Ø6c/15	238.14	103.5	732.0	206.4	-6.97	734.0	302.6	0.1	0.5 GSis Sim
		30.40x0.40	6.80/9.40	Ø6c/20	216.16	121.0	728.0	165.0	-1.71	729.3	263.0	0.1	0.7 GSis Sim
		20.40x0.40	3.80/6.40	Ø6c/15	171.24	141.1	728.0	199.8	-2.55	732.0	301.8	0.1	0.7 GSis Sim
		10.40x0.40	0.00/3.40	Ø8c/25	53.61	105.3	720.6	176.3	5.95	720.6	242.3	0.1	0.6 GSis Sim
P3	60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	80.05	-13.16	733.3	199.7	-27.67	733.3	186.6	0.0	0.1 GSis Sim
	50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	205.01	-71.59	733.3	187.6	-15.07	733.3	244.4	0.1	0.3 GSis Sim
	40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø16+4Ø16	Ø6c/15	250.99	-103.17	732.0	207.1	-12.39	734.0	299.1	0.1	0.5 GSis Sim
	30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø20+2Ø16+2Ø20	Ø6c/20	248.93	-120.57	728.0	166.5	-12.31	729.3	257.1	0.1	0.7 GSis Sim
	20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø12+4Ø20	Ø6c/15	204.42	-141.07	728.0	201.1	-11.10	732.0	295.6	0.1	0.7 GSis Sim
	10.40x0.40	0.00/3.40	4Ø25+2Ø20+2Ø20	Ø8c/25	96.88	-104.47	720.6	178.2	1.15	720.6	280.1	0.1	0.5 GSis Sim
	P4	60.40x0.40	15.80/18.40	Ø6c/15	51.52	37.93	733.3	180.7	-7.51	733.3	212.6	0.0	0.2 GSis Sim
		50.40x0.40	12.80/15.40	Ø6c/15	169.87	51.01	733.3	188.9	-17.29	733.3	221.4	0.0	0.2 GSis Sim
		40.40x0.40	9.80/12.40	Ø6c/15	338.03	20.89	733.3	264.7	-73.64	733.3	195.5	0.1	0.3 GSis Sim
		30.40x0.40	6.80/9.40	Ø6c/20	100.62	22.41	732.0	180.3	74.98	732.0	163.2	0.1	0.4 GSis Sim
		20.40x0.40	3.80/6.40	Ø6c/15	71.23	26.00	732.0	210.4	91.21	734.0	198.9	0.1	0.4 GSis Sim
		10.40x0.40	0.00/3.40	Ø8c/20	24.61	15.19	723.5	226.2	94.84	723.5	221.7	0.1	0.4 GSis Sim
P5	60.40x0.40	15.80/18.40	4Ø16+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	139.48	-46.40	733.3	186.7	36.87	733.3	190.7	0.0	0.3 GV Sim
	50.40x0.40	12.80/15.40	4Ø16+2Ø12+2Ø16	Ø6c/15	235.01	-78.07	732.0	186.8	2.91	733.3	280.7	0.1	0.4 GSis Sim
	40.40x0.40	9.80/12.40	4Ø20+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	388.86	-103.47	730.6	191.6	-9.18	730.6	279.7	0.1	0.5 GSis Sim
	30.40x0.40	6.80/9.40	4Ø20+2Ø12+2Ø12	Ø6c/15	540.74	-100.77	730.6	200.6	-11.87	730.6	279.7	0.1	0.5 GSis Sim
	20.40x0.40	3.80/6.40	4Ø20+2Ø16+2Ø16	Ø6c/20	707.01	-112.07	729.3	189.6	-7.45	729.3	263.0	0.1	0.5 GSis Sim

Desfavoráveis

Pila	PI	Dimens	Tramo	Armaduras	Estrib	Nsd	Vsdx	Vrd1x	Vrd2x	Vsdy	Vrd1y	Vrd2y	CC	Orige	Verific
r		ão			os									m	a
		10.45x0.		4Ø25+	Ø8c/617.76	149.6	921.3	216.4	49.62	921.3	266.4	0.1	0.7	GSis	Sim
		45	0.00/3.40	2Ø25+6Ø25	30	0	8	2		8	9	7	2		
P6		60.30x0.	15.80/18.40	16+ 2Ø12	Ø6c/115.54	8.30	399.0	112.7	28.55	400.0	97.78	0.0	0.3	GSis	Sim
		30	40		15	0	8			0					
		50.30x0.	12.80/15.40	20+ 2Ø12+2Ø20	Ø6c/288.83	66.12	396.0	98.97	22.86	398.0	117.9	0.1	0.7	GSis	Sim
		30	40		15	0				0	7	8	0		
		40.30x0.		4Ø25+	Ø8c/426.10	79.47	389.2	295.88	22.08	389.2	126.3	0.2	0.8	GSis	Sim
		30	9.80/12.4	+2Ø25	30		5			5	5	1	5		
		0													
		30.40x0.		4Ø25+	Ø8c/471.39	165.3	719.0	205.6	24.99	722.0	290.9	0.2	0.8	GSis	Sim
		40	6.80/9.40	2Ø16+2Ø25	20	0	0	0		0	7	3	1		
		20.45x0.		4Ø25+	Ø8c/448.35	177.4	921.3	251.6	25.91	924.7	362.3	0.1	0.7	GSis	Sim
		45	3.80/6.40	2Ø16+2Ø25	20	2	8	6		5	8	9	1		
		10.45x0.		4Ø25+	Ø8c/1263.1	-160.8	921.3	303.2	-13.02	924.7	369.1	0.1	0.5	GSis	Sim
		45	0.00/3.40	2Ø16+4Ø25	20	8	2	8	5	5	7	8	3		
P7		60.30x0.	15.80/18.40	16+ 2Ø12	Ø6c/120.33	-9.86	399.0	110.1	28.99	400.0	97.96	0.0	0.3	GSis	Sim
		30	40		15	0	5			0		8	1		
		50.30x0.	12.80/15.40	20+ 2Ø16+2Ø20	Ø6c/281.88	-68.71	396.0	90.61	22.47	397.0	109.6	0.1	0.7	GSis	Sim
		30	40		20	0				0	7	8	9		
		40.30x0.		4Ø25+	Ø8c/416.60	-80.60	389.2	295.49	21.12	389.2	127.5	0.2	0.8	GSis	Sim
		30	9.80/12.4	+2Ø25	30		5			5	5	1	6		
		0													
		30.40x0.		4Ø25+	Ø8c/457.39	-165.8	719.0	205.0	22.58	722.0	297.7	0.2	0.8	GSis	Sim
		40	6.80/9.40	2Ø16+2Ø25	20	7	0	5		0	0	3	1		
		20.40x0.		4Ø25+	Ø8c/429.04	-186.8	721.5	209.0	24.91	719.0	259.8	0.2	0.9	GSis	Sim
		40	3.80/6.40	2Ø25+4Ø20	25	3	0	3		0	8	6	0		
		10.40x0.		4Ø25+	Ø8c/1251.2	130.7	719.0	252.3	-5.35	722.0	297.7	0.1	0.5	GSis	Sim
		40	0.00/3.40	2Ø16+4Ø25	20	0	1	0	2	0	0	8	2		
P8		60.40x0.	15.80/18.40	16+ 2Ø12+2Ø12	Ø6c/139.93	46.81	733.3	186.6	39.46	733.3	188.9	0.0	0.3	GV	Sim
		40	40		15		3	7		3	1	8	3		
		50.40x0.	12.80/15.40	16+ 2Ø16+2Ø16	Ø6c/255.66	79.22	732.0	171.7	7.43	732.0	264.0	0.1	0.4	GSis	Sim
		40	40		20	0	3			0	1	1	6		
		40.40x0.		4Ø20+	Ø6c/411.86	103.8	730.6	192.7	-7.79	730.6	279.7	0.1	0.5	GSis	Sim
		40	9.80/12.4	2Ø12+2Ø12	15		6	7	4		7	0	4	4	
		0													
		30.40x0.		4Ø20+	Ø6c/572.83	101.5	730.6	201.9	-6.38	730.6	279.7	0.1	0.5	GSis	Sim
		40	6.80/9.40	2Ø12+2Ø12	15	1	7	9		7	0	4	0		
		20.40x0.		4Ø20+	Ø6c/737.99	115.2	728.0	180.5	-5.54	728.0	252.9	0.1	0.6	GSis	Sim
		40	3.80/6.40	2Ø20+2Ø20	25	3	0	3		0	1	6	4		
		10.45x0.		4Ø25+	Ø8c/632.56	-137.1	819.0	240.0	34.63	811.6	293.0	0.1	0.5	GSis	Sim
		40	0.00/3.40	4Ø20+4Ø25	25	0	0	0		9	2	7	8		
P9		60.40x0.	15.80/18.40	16+ 2Ø12+2Ø12	Ø6c/172.96	-64.27	733.3	185.9	-19.75	733.3	214.1	0.0	0.3	GSis	Sim
		40	40		15		3	4		3	8	9	6		
		50.40x0.	12.80/15.40	16+ 4Ø12+4Ø16	Ø6c/410.33	-95.67	732.0	215.9	-42.72	734.0	243.5	0.1	0.4	GSis	Sim
		40	40		15		0	1		0	2	4	8		
		40.40x0.		4Ø25+	Ø8c/664.98	-116.1	722.0	221.3	-60.74	722.0	249.2	0.1	0.5	GSis	Sim
		40	9.80/12.4	2Ø16+2Ø16	20		2	0	8		0	1	8	8	
		0													
		30.40x0.		4Ø25+	Ø8c/710.74	-38.03	722.0	289.0	-135.4	722.0	219.2	0.1	0.6	GSis	Sim
		40	6.80/9.40	2Ø16+2Ø16	20	0	1	4		0	2	9	3		
		20.40x0.		4Ø25+	Ø8c/874.96	-49.92	723.5	326.7	-148.4	723.5	251.7	0.2	0.6	GSis	Sim
		40	3.80/6.40	4Ø16+4Ø16	20	0	8	8		0	3	2	1		
		10.45x0.		4Ø25+	Ø8c/1273.6	10.15	921.3	374.2	175.3	924.7	249.2	0.1	0.7	GSis	Sim
		45	0.00/3.40	6Ø20+4Ø25	25	5	8	7	2	5	1	9	0		
P10		60.40x0.	15.80/18.40	16+ 2Ø12+2Ø12	Ø6c/232.05	21.43	733.3	220.1	-47.93	733.3	194.5	0.0	0.2	GSis	Sim
		40	40		15		3	1		3	6	7	6		
		50.40x0.	12.80/15.40	16+ 4Ø12+4Ø16	Ø6c/532.22	117.3	732.0	218.1	-15.58	734.0	302.6	0.1	0.5	GSis	Sim
		40	40		15		9	0	2	0	3	6	4		
		40.40x0.		4Ø25+	Ø8c/719.64	158.7	720.6	198.3	-12.98	720.6	280.1	0.2	0.8	GSis	Sim
		40	9.80/12.4	2Ø20+2Ø20	25		8	7	7		7	4	2	0	
		0													
		30.40x0.		4Ø25+	Ø8c/848.29	171.4	719.0	188.6	-12.50	719.0	268.1	0.2	0.9	GSis	Sim
		40	6.80/9.40	2Ø25+2Ø25	30	0	0	7		0	8	4	1		
		20.45x0.		4Ø25+	Ø8c/906.05	256.4	921.3	291.8	-14.27	924.7	369.1	0.2	0.8	GSis	Sim
		45	3.80/6.40	2Ø16+4Ø25	20	1	8	9		5	7	8	8		
		10.45x0.		4Ø25+	Ø8c/1285.4	8.24	921.3	374.2	-195.5	925.3	248.6	0.2	0.7	GSis	Sim
		45	0.00/3.40	10Ø20+4Ø25	25	3	8	7	6	9	0	1	9		
P11		60.40x0.	15.80/18.40	16+ 2Ø12+2Ø12	Ø6c/232.71	-20.68	733.3	221.9	-48.61	733.3	194.2	0.0	0.2	GSis	Sim
		40	40		15		3	5		3	8	7	7		
		50.40x0.	12.80/15.40	16+ 4Ø12+4Ø16	Ø6c/534.03	-117.7	732.0	218.1	-18.62	734.0	302.6	0.1	0.5	GSis	Sim
		40	40		15		8	0	1	0	3	6	4		
		40.40x0.		4Ø25+	Ø8c/721.62	-158.8	720.6	198.4	-16.37	720.6	280.1	0.2	0.8	GSis	Sim
		40	9.80/12.4	2Ø20+2Ø20	25		6	7	2		7	4	2	0	
		0													
		30.40x0.		4Ø25+	Ø8c/850.17	-170.8	723.5	246.9	-23.03	723.5	326.7	0.2	0.7	GSis	Sim
		40	6.80/9.40	4Ø16+4Ø16	20	9	0	0		0	8	4	0		
		20.45x0.		4Ø25+	Ø8c/909.49	-256.2	921.3	292.0	-19.79	924.7	369.1	0.2	0.8	GSis	Sim
		45	3.80/6.40	2Ø16+4Ø25	20	5	8	0		5	7	8	8		
		10.45x0.		4Ø25+	Ø8c/861.27	-189.9	925.3	239.6	-2.36	921.3	374.2	0.2	0.7	GSis	Sim
		45	0.00/3.40	4Ø25+10Ø20	25		4	9	7		8	7	1	9	

Desfavoráveis															
Pila	PI	Dimens	Tramo	Armaduras	Estrib	Nsd	Vsdx	Vrd1x	Vrd2x	Vsdy	Vrd1y	Vrd2y	CC	Orige	Verific
r		ão			os									m	a
P12	60.40x0.	15.80/18.40	16+	4Ø16+	Ø6c/172.35	66.13	732.0	185.1	-20.50	733.3	210.6	0.0	0.3	GSis	Sim
	40	40		2Ø12+2Ø16	15		0	5		3	8	9	7		
	50.40x0.	12.80/15.40	16+	4Ø16+	Ø6c/430.62	97.11	732.0	216.6	-41.35	734.0	246.1	0.1	0.4	GSis	Sim
	40	40		4Ø12+4Ø16	15		0	5		0	4	4	8		
	40.40x0.			4Ø20+	Ø6c/578.80	46.68	728.0	213.9	-118.77	728.0	171.3	0.1	0.7	GSis	Sim
	40	9.80/12.40		2Ø20+2Ø20	25		0	5	0	0	2	8	3		
		0													
	30.40x0.			4Ø20+	Ø6c/757.35	43.09	730.0	265.3	-149.27	728.0	198.6	0.2	0.7	GSis	Sim
	40	6.80/9.40		4Ø20+4Ø16	20		0	0	5	0	4	1	7		
	20.40x0.			4Ø25+	Ø8c/924.90	54.82	719.0	265.1	-161.17	719.0	192.5	0.2	0.8	GSis	Sim
	40	3.80/6.40		2Ø25+2Ø25	30		0	9	0	0	1	4	6		
	10.45x0.			4Ø25+	Ø8c/1296.5	-15.63	923.2	349.2	197.5	921.3	270.7	0.2	0.7	GSis	Sim
	45	0.00/3.40		8Ø25+2Ø20	25	8		5	0	0	8	9	2	3	

ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL PELA 2ª ORDEM

Para a análise da estabilidade global levou-se em consideração que os deslocamentos reais da estrutura são os considerados no cálculo, multiplicados por:

Vento +X	1.59
Vento -X	1.59
Vento +Y	1.59
Vento -Y	1.59
Sismo X 1	1.00
Sismo X 2	1.00
Sismo Y 1	1.00
Sismo Y 2	1.00

Número de hipóteses de acção vertical: 2; Número de hipóteses de acção horizontal: 4
Número de hipóteses com análise dinâmica: 4; Número de modos analisados em segunda ordem: 2

O momento de derrube produzido pelas acções horizontais nas diferentes hipóteses é:

kNm		
Vento +X		1009.361
Vento -X		1009.361
Vento +Y		2018.723
Vento -Y		2018.723
Modo 1	Acção sísmica I	7147.122
Modo 2		11368.988
Modo 1	Acção sísmica II	12444.392
Modo 2		19106.316

O momento por efeito P-delta produzido pelas diferentes hipóteses de carga vertical, sob a actuação simultânea das hipóteses de acções horizontais é:

Permanentemente Sobrecarga		
	kNm	kNm
Vento +X	26.151	4.453
Vento -X	26.151	4.453
Vento +Y	59.007	10.030
Vento -Y	59.007	10.030
Modo 1	Acção sísmica I	127.014
Modo 2		180.850
		30.797

		Permanente	Sobrecarga
		kNm	kNm
Modo 1	Acção sísmica II	221.153	37.476
Modo 2		303.930	51.757

As acções horizontais são incrementadas pela actuação simultânea das acções verticais segundo os seguintes factores de amplificação (FA):

	Permanente	Sobrecarga
Vento +X	0.026	0.004
Vento -X	0.026	0.004
Vento +Y	0.029	0.005
Vento -Y	0.029	0.005
Modo 1	0.018	0.003
Modo 2	0.016	0.003

Quando numa combinação actue uma acção horizontal com um coeficiente de majoração F_v e várias acções verticais com coeficientes de majoração $F_{g1}...F_{gn}$, o coeficiente de majoração da acção horizontal será:

$$F_v (\text{estabilidade global}) = F_v \cdot \frac{1}{1 - (F_{g1} \cdot FA_1 + \dots + F_{gn} \cdot FA_n)}$$

As relações máximas entre os coeficientes de majoração amplificados e os coeficientes de majoração não amplificados para as diferentes hipóteses de acção horizontal são:

Vento +X	1.048
Vento -X	1.048
Vento +Y	1.054
Vento -Y	1.054

No caso do sismo realiza-se uma combinação quadrática completa, não tendo sentido a relação entre o coeficiente de majoração amplificado e o coeficiente de majoração sem amplificar.”

ANEXO D

VERIFICAÇÃO TÉRMICA

A fachada de 1 piso tem uma área de 154,28 m² incluindo a metade da espessura da laje do tecto e da laje do pavimento.

No caso de alvenaria estrutural a fachada tem uma área de parede de tijolo de 143,64 m², e a metade da espessura das lajes de tecto e do pavimento representa uma área de 10,64 m², a que corresponde uma área total de 154,28 m².

No caso de construção convencional a fachada tem uma área de parede de tijolo, 132,30 m², a área dos pilares é de 11,34 m², e a metade da espessura das lajes de tecto e do pavimento tem uma área de 10,64 m², o que corresponde uma área total de 154,28 m².

A parede em tijolo está construída com o bloco termoargila de 29 cm mais 1 cm de caixa de ar e 3 cm de poliestireno extrudido. As zonas de betão, laje e pilares, a construção é de 30 cm de betão e 3 cm de poliestireno extrudido.

Assim, nas tabelas seguintes calcula-se a resistência térmica e o coeficiente de transferência térmica para as duas situações. Nas duas equações seguintes calcula-se o valor médio do coeficiente de transferência térmica para as duas soluções construtivas. Nestes cálculos os revestimentos e as janelas não estão considerados, uma vez que a influência é igual para as duas soluções diferentes.

ALVENARIA ESTRUTURAL

$$U = \frac{0,39 \times 143,64}{154,28} + \frac{0,858 \times 10,64}{154,28} = 0,422 \text{ W/m}^2\text{K}$$

CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL

$$U = \frac{0,39 \times 132,3}{154,28} + \frac{0,858 \times 21,98}{154,28} = 0,456 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Como se nota a diferença entre as duas soluções é de 0,034 W/m²K.

FIGURA D-1, Verificação térmica da parede em betão armado com isolamento, utilizando tabelas de cálculos alemãs

10/07/11											
Tool											
Wandaufbau:											
U-Wert und Temperaturverlauf: Berechnungstabelle			Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten U					Berechnung des Temperaturverlaufs durch die Konstruktion			
Aufbau	Material		d	λ	$h_{e,i}$	$1/h_{e,i}$ bzw. d_i/λ_i	$1/h_{e,i} + \sum d_i/\lambda_i$	q	$\Delta\theta$	θ	
Aussenluft			-	-	-	-	-	-	-	$\theta_e = -2,00$	
Übergang aussen			-	-	25	0,040	-	¹⁾ 18,884	²⁾ 0,76	$\theta_{5e} = -1,24$	
1. Schicht	Betão armado		0,3	2,1	-	0,143	0,040		³⁾ 2,70	$\theta_{12} = 1,45$	
2. Schicht	Isolamento		0,03	0,035	-	0,857	0,183		³⁾ 16,19	$\theta_{23} = 17,64$	
3. Schicht					-		1,040		³⁾	$\theta_{34} = 17,64$	
4. Schicht					-		1,040		³⁾	$\theta_{45} = 17,64$	
5. Schicht					-		1,040		³⁾	$\theta_{56} = 17,64$	
6. Schicht					-		1,040		³⁾	$\theta_{67} = 17,64$	
7. Schicht					-		1,040		³⁾	$\theta_{78} = 17,64$	
8. Schicht					-		1,040		³⁾	$\theta_{89} = 17,64$	
9. Schicht					-		1,040		³⁾	$\theta_{910} = 17,64$	
10. Schicht					-		1,040		³⁾	$\theta_{Si} = 17,64$	
Übergang innen			-	-	8	0,125	1,165		²⁾ 2,36	$\theta_i = 20,00$	
Innenluft			-	-	-	-	-	-	-		
			$R_{tot} = 1/h_e + \sum d_i/\lambda_i + 1/h_i = 1,165$					¹⁾ $q = U (q_i - q_e)$			
								²⁾ $\Delta\theta = q / h$			
			$U = 1/R_{tot} = 0,858$					³⁾ $\Delta\theta = q \cdot d / \lambda$			

FIGURA D-2, Verificação térmica da parede em blocos cerâmicos térmicos com isolamento, utilizando tabelas de cálculo alemãs

10/07/11

Tool


Wandaufbau:

U-Wert und Temperaturverlauf: Berechnungstabelle			Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten U						Berechnung des Temperaturverlaufs durch die Konstruktion		
Aufbau	Material		d	λ	h _{e,i}	1/h _{e,i} bzw. d _i /λ _i	1/h _{e,i} + Σ d _i /λ _i	q	Δθ	θ	
Aussenluft			[m]	[W/mK]	[W/m²K]	[m²K/W]	[m²K/W]	[W/m²]	[°C]	[°C]	
Übergang aussen			-	-	-	-	-	-	-	θ _e = -2,00	
1. Schicht	Tijolo térmico		0,29	0,25	25	0,040	0,040	1) 8,576	2) 0,34	θ _{5e} = -1,66	
2. Schicht	Caixa de ar		0,01	0,0261	-	0,383	1,200		3) 9,95	θ ₁₂ = 8,29	
3. Schicht	Isolamento		0,03	0,035	-	0,857	1,583		3) 3,29	θ ₂₃ = 11,58	
4. Schicht					-		2,440		3) 7,35	θ ₃₄ = 18,93	
5. Schicht					-		2,440		3)	θ ₄₅ = 18,93	
6. Schicht					-		2,440		3)	θ ₅₆ = 18,93	
7. Schicht					-		2,440		3)	θ ₆₇ = 18,93	
8. Schicht					-		2,440		3)	θ ₇₈ = 18,93	
9. Schicht					-		2,440		3)	θ ₈₉ = 18,93	
10. Schicht					-		2,440		3)	θ ₉₁₀ = 18,93	
Übergang innen			-	-	8	0,125	2,440		2) 1,07	θ _{Si} = 18,93	
Innenluft			-	-	-	-	2,565	-	-	θ _i = 20,00	
			R _{tot} = 1/h _e + Σd _i /λ _i + 1/h _i = 2,565						1) q = U (q _i - q _e)		
									2) Δθ = q / h		
									3) Δθ = q • d / λ		
			U= 1 / R _{tot} = 0,390								

Seite 1

EDIFÍCIO DE SERVIÇO EM LISBOA

FIGURA D-3, Folhas de cálculo conforme com o Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril

F R A C Ç Ã O -----» EdS				
				
Paredes Exteriores	Totais	327.60 m2	e	117.28 W/°C
<hr/>				
Paredes exteriores [FC IV.1b]		Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
<hr/>				
»---» Bloco cerâmico térmico	327.60 m2	0.358 W/m2°C	117.28 W/°C	
(o)---» PB	121.80 m2			
(o)---» PE	42.00 m2			
(o)---» PN	121.80 m2			
(o)---» PW	42.00 m2			
<hr/>				
Pavimentos em C/ com o Exterior (Totais)	417.60 m2	e	187.92 W/°C	
<hr/>				
Pavimentos exteriores [FC IV.1b]		Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
<hr/>				
»---» L 1 // Bet. de 15 Argex	417.60 m2	0.45 W/m2°C	187.92 W/°C	
(o)---» Descrição (Aparece nas listagens)	417.60 m2			
<hr/>				
Coberturas Exteriores (Totais)	0.00 m2	e	0.00 W/°C	
<hr/>				
Coberturas exteriores [FC IV.1b]		Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
<hr/>				
»---»	0.00 m2	W/m2°C	0.00 W/°C	
(o)---» Indique uma descrição	0.00 m2			

FRACÇÃO -----» EdS



Paredes e Pavimentos c/ cont. com o solo (Totais) 93.60 m e 65.52 W/°C

Paredes e Pavimentos [FC IV.1b]
em contacto com o solo

B
[m]

Psi
[W/m°C]

Psi.A
[W/°C]

»---» Cave / Escadas	93.60 m	0.70 W/m°C	65.52 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	93.60 m		

Pontes Térmicas Lineares (Totais) 187.20 m e 14.04 W/°C

Pontes Térmicas lineares [FC IV.1b]
Ligações entre :

B
[m]

Psi
[W/m°C]

Psi.A
[W/°C]

»---» Fachada Pavimentos com Têrreos (Totais)	93.60 m	e	14.04 W/°C
(c)---» Cave	93.60 m	0.15 W/m°C	14.04 W/°C
(c)---» Descrição que aparece nas listagens	93.60 m		
»---» Fachada com Pavimentos ---» Totais	93.60 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	93.60 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Parede	93.60 m		
»---» Fachada com Pavimentos Intermediárias ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique um nome	0.00 m		
»---» Fachada com Coberturas Inclinadas ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Fachada com Varanda ou Terraço ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Pontes Duas Paredes Verticais ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Caixa de Estore ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Padieira Ombreira ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Outras Pontes ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---» ponte térmica tipo caleira ou courette	0.00 m	0.50 W/m°C	0.00 W/°C

FRACÇÃO -----» EdS



Perdas Envolvente Interior (Totais) 417.60 m e 56.38 W/°C

Perdas na Envolvente Interior [FC IV.1b]		Ligações entre :			
		Área [m ²]	U [W/m ² °C]	Tau	A.U.Tau [W/°C]
»---»	Paredes C/ Não úteis Totais ---»»	0.00 m	e	0.00 W/°C	
(c)---»		0.00 m ²	W/m ² °C		0.00 W/°C
(c)---»	Indique uma descrição	0.00 m			
»---»	Gerais Pavimentos C/ Não úteis Totais ---»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C	
(c)---»		0.00 m ²	W/m ² °C		0.00 W/°C
(c)---»	Indique uma descrição	0.00 m ²			
»---»	C/ Coberturas n/ úteis Totais ---»»»	417.60 m ²	e	56.38 W/°C	
(c)---»	Laje L2 - ICB 26+15	417.60 m	0.45 W/m ² °C	0.3	56.38 W/°C
(c)---»	Indique uma descrição	417.60 m ²			
»---»	Vãos C/contacto n/úteis Totais ---»»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C	
(c)---»	Janela J1	0.00 m ²	2.45 W/m ² °C	0.50	0.00 W/°C
»---»	Pontes Tau > 0.7 Paredes C// n/úteis Totais ---»»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C	
(c)---»	Setão do tipo 1	0.00 m	2.45 W/m ² °C	0.85	0.00 W/°C

Vãos Envidraçados Exteriores Totais ---»»»» 31.20 m² e 78.00 W/°C

Vão Envidraçado exteriores [FC IV.1b]		[PERDAS]			
		Área [m ²]	U [W/m ² °C]	U.A [W/°C]	
Envidraçados Verticais	Total---»»»	31.20 m ²	e	78.00 W/°C	
(c)---»	Janela de Alumínio JJ1	31.20 m ²	2.5 W/m ² °C		78.00 m ²
Envidraçados Horizontais	Totais ---»»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C	
(c)---»	Claraboia em aço e vidro JC1	0.00 m ²	3.15 W/m ² °C		0.00 m ²



FOLHA DE CALCULO FC IV.1e

Ganhos Solares

Área efectiva Total equivalente na orientação sul (m²) 12.34 m²

Radiação Incidente num envidraçado a sul (G S u l)

[Zona]

(kWh / m².mês - do quadro 8 (Anexo III))----- > 108.00 GSul (kWh/m² . mês

Duração da Estação de Aquecimento (meses) 5.30 meses

Ganhos Solares Brutos (kWh / ano) 7064.97 kWh / ano

Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m²)- 0.00W/m²

Duração da Estação de Aquecimento (meses) 5.30 meses

Área Útil de Pavimento - 417.60 m²

Ganhos Internos Líquidos (W .meses/ano) - 0.00 W .meses

[x 0.72 = 30 * 24 kh/ mês]

Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)- 0.00 kWh / ano

Ganhos Totais Úteis

GAMA = (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) / Necessidades Brutas de Aquecimento

Gama = 0.48 -----> ETA = 0.00

Ganhos Totais úteis (kWh / ano) ---> (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) * ETA

GANHOS TOTAIS ÚTEIS (kWh / ano) ---> 0.00 kWh / ano

**FOLHA DE CALCULO FC IV.2**

Calculo do indicador [Nic]

Necessidades nominais de energia de aquecimento

Perdas térmicas associadas : W / °C

Envolvente Exterior (PC IV1.a)	384.76
Envolvente Interior (PC IV1.b)	56.38
Vãos Envidaçados (PC IV1.c)	78.00
Renovação do AR (PC IV1.d)	0.00

Coeficiente Global de Perdas (W / °C) 519.14

Graus-Dia no Local (°C.Dia) -----> 1190.00

$$\frac{24h}{1000} \times 0.024 \text{ kh} =$$
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh / ano) 14826.64

Ganhos Totais Úteis (kWh / ano) : 0.00 kWh/ano

Necessidades de Aquecimento : 14826.64

/ Área Útil de pavimento = 417.60 m²**NIC (Necessidades Nominais Aquecimento (kWh / m² .ano) 35.50****NI (Necessidades Máximas (kWh / m² .ano) 120.36****VERIFICA**

**FOLHA DE CALCULO FC V.1a**

(Perdas)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Perdas térmicas associadas :

W / °C

Paredes Exteriores	(PC IV1.a)	117.28
Pavimentos Exteriores	(PC IV1.a)	187.92
Coberturas Exteriores	(PC IV1.b= PC IV1.a)	0.00
Envidracados Exteriores	(PC V1.b)	78.00
Renovação do AR	(PC IV1.d)	0.00

Perdas específicas totais (W/°C) ----- > 383.20 W / °C

Temperatura interior de referência (°C) ----- > 25°C

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento -----> 23.00°C

Diferença de temperaturas (Int - Ext) -----> 2.00°C

Perdas específicas totais * Temperatura Média (Delta T , a 25°C) 766.40 W

Junho Julho Agosto Setembro
 (30 + 31 + 31 + 30) = 122 * 24 Horas (Kh/ano) x 2.928 =

Perdas Térmicas Totais (kWh / ano) : 2244.02 kWh/ano



FOLHA DE CALCULO FC V.1c

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos solares pela envolvente opaca

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	17.44 W/°C x	200.00 kWh/m2 =	3488.35
Norte-Este [NE] ----->	0.00 W/°C x	340.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	6.01 W/°C x	470.00 kWh/m2 =	2826.77
Sul-Este [SE] ----->	0.00 W/°C x	460.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	17.44 W/°C x	380.00 kWh/m2 =	6627.67
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 W/°C x	460.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	6.01 W/°C x	470.00 kWh/m2 =	2826.77
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 W/°C x	340.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	0.00 W/°C x	820.00 kWh/m2 =	0.00

Ganhos potenciados solares pela envolvente opaca = 15769.76 kWh /m2 /°C * W

Relação de potencial solar (x) 40 °C .m2 / W = 0.04 x = 630.79 kWh

GANHOS TOTAL QUADRO FC V.1c ----- > 630.79 kWh



FOLHA DE CALCULO FC V.1d

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Envidraçados

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	0.00 m2 x 200.00 kWh/m2 =	0.00
Norte-Este [NE] ----->	0.00 m2 x 340.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	0.00 m2 x 470.00 kWh/m2 =	0.00
Sul-Este [SE] ----->	0.00 m2 x 460.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	12.34 m2 x 380.00 kWh/m2 =	4689.20
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 m2 x 460.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	0.00 m2 x 470.00 kWh/m2 =	0.00
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 m2 x 340.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	0.00 m2 x 820.00 kWh/m2 =	0.00

Ganhos Totais Envidraçados = 4690.23 kWh

(Envidraçados)

GANHOS ,TOTAL QUADRO FC V.1d ----- > 4690.23 kWh

**FOLHA DE CALCULO FC V.1e**

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos Internos da fracção

Junho Julho Agosto Setembro
 (30 + 31 + 31 + 30) = 122 * 24 Horas (Kh/ano) 2.928 x

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)- 0.00W/m2

Área Útil de Pavimento - 417.60 m2

Ganhos Internos Brutos
 [0.00 W x 2.928 kh/ano]

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.e ----- > 0.00 kWh

FOLHA DE CALCULO FC V.1f

(Ganhos Totais)

Ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão) (Junho a Setembro)

4690.23 kWh ---> Ganhos solares pelos vãos envidraçados
 630.79 kWh ---> Ganhos solares pela envolvente opaca
 0.00 kWh ---> Ganhos internos

Q FCV1.d + Q FCV1.c + Q FCV1.e = 5321.02 kWh
Total FC V1.f



FOLHA DE CÁLCULO FC V.1g

(Nvc - Cálculo)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento (Nvc)

5321.02 kWh Ganhos térmicas Totais (Verão) (a)

2244.02 kWh Perdas térmicas Totais (Verão) (b)

GAMA = (Ganhos) / (Perdas) = a / b = 2.37

Inercia Tipo () -----> ETA = 0.40

ETA --> Factor de ganhos solares ---> Ganhos reais = G.Solares x (1 - ETA)

Ganhos Termicos Totais (quadro V.1F) * (1 - ETA) = 5321.02 x 0.60 (kWh

Necessidades brutas de arrefecimento = 3192.61 k W h

Consumo dos ventiladores (não há) = 0.00 k W h

T O T A L = 3192.61 k W h

417.60 m2 ---> Área util da fracção

7.65 Nvc ---> kWh / m2

32.00 NV ---> kWh / m2

VERIFICA

EDIFÍCIO DE SERVIÇO EM LAGOS (ALGARVE)

FIGURA D-4, Folhas de cálculo conforme com o Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril

F R A C Ç Ã O -----» EdS			
			
Paredes Exteriores	Totais	327.60 m2	e 117.28 W/°C
<hr/>			
Paredes exteriores [FC IV.1b]	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
<hr/>			
»---» Bloco cerâmico térmico	327.60 m2	0.358 W/m2°C	117.28 W/°C
(c)---» PS	121.80 m2		
(c)---» PE	42.00 m2		
(c)---» PN	121.80 m2		
(c)---» PW	42.00 m2		
<hr/>			
Pavimentos em C/ com o Exterior (Totais)	417.60 m2	e 187.92 W/°C	
<hr/>			
Pavimentos exteriores [FC IV.1b]	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
<hr/>			
»---» L 1 // Bet. de 15 Argex	417.60 m2	0.45 W/m2°C	187.92 W/°C
(c)---» Descrição (Aparece nas listagens)	417.60 m2		
<hr/>			
Coberturas Exteriores (Totais)	0.00 m2	e 0.00 W/°C	
<hr/>			
Coberturas exteriores [FC IV.1b]	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
<hr/>			
»---»	0.00 m2	W/m2°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m2		

FRACÇÃO -----» EdS



Paredes e Pavimentos c/ cont. com o solo (Totais) 93.60 m e 65.52 W/°C

Paredes e Pavimentos [FC IV.1b]
em contacto com o solo

B
[m] Psi
[W/m°C] Psi.A
[W/°C]

»---» Cave / Escadas	93.60 m	0.70 W/m°C	65.52 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	93.60 m		

Pontes Térmicas Lineares (Totais) 187.20 m e 14.04 W/°C

Pontes Térmicas lineares [FC IV.1b]
Ligações entre :

B
[m] Psi
[W/m°C] Psi.A
[W/°C]

»---» Fachada Pavimentos com Têrreos (Totais)	93.60 m	e	14.04 W/°C
(c)---» Cave	93.60 m	0.15 W/m°C	14.04 W/°C
(c)---» Descrição que aparece nas listagens	93.60 m		
»---» Fachada com Pavimentos ---» Totais	93.60 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	93.60 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Parede	93.60 m		
»---» Fachada com Pavimentos Intermédios ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique um nome	0.00 m		
»---» Fachada com Coberturas Inclinadas ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Fachada com Varanda ou Terraço ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Pontes Duas Paredes Verticais ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Caixa de Estore ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Padieira Ombreira ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Outras Pontes ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---» ponte térmica tipo caleira ou courette	0.00 m	0.50 W/m°C	0.00 W/°C



Perdas Envolvente Interior (Totais) 417.60 m e 56.38 W/°C

Perdas na Envolvente Interior [FC IV.1b]					
Ligações entre :		Área [m ²]	U [W/m ² °C]	Tau	A.U.Tau [W/°C]
»---»	Paredes C/ Não úteis Totais ---»»	0.00 m	e	0.00 W/°C	
(c)---		0.00 m ²	W/m ² °C		0.00 W/°C
(c)---	Indique uma descrição	0.00 m			
»---»	Gerais Pavimentos C/ Não úteis Totais ---»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C	
(c)---		0.00 m ²	W/m ² °C		0.00 W/°C
(c)---	Indique uma descrição	0.00 m ²			
»---»	C/ Coberturas n/ úteis Totais ---»»»	417.60 m ²	e	56.38 W/°C	
(c)---	Laje L2 - ICB 26+15	417.60 m	0.45 W/m ² °C	0.3	56.38 W/°C
(c)---	Indique uma descrição	417.60 m ²			
»---»	Vãos C/contacto n/úteis Totais ---»»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C	
(c)---	Janela J1	0.00 m ²	2.45 W/m ² °C	0.50	0.00 W/°C
»---»	Pontes Tau > 0.7 Paredes C// n/úteis Totais ---»»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C	
(c)---	Setão do tipo 1	0.00 m	2.45 W/m ² °C	0.85	0.00 W/°C

Vãos Envidraçados Exteriores Totais ---»»»» 31.20 m² e 78.00 W/°C

Vão Envidraças exteriores [FC IV.1b]					
[PERDAS]		Área [m ²]	U [W/m ² °C]	U.A [W/°C]	
Envidraçados Verticais	Total---»»»	31.20 m ²	e	78.00 W/°C	
(c)---	Janela de Alumínio JJ1	31.20 m ²	2.5 W/m ² °C		78.00 m ²
Envidraçados Horizontais	Totais ---»»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C	
(c)---	Clayabola em aço e vidro JC1	0.00 m ²	3.15 W/m ² °C		0.00 m ²

**FOLHA DE CALCULO FC IV.1e**Ganhos Solares

Área efectiva Total equivalente na orientação sul (m2)	12.34 m2
Radiação Incidente num envidraçado a sul (GSul)	
[Zona] (kWh / m2.mês - do quadro 8 (Anexo III))----- >	108.00 GSul (kWh/m2 . mês)
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	5.00 meses
Ganhos Solares Brutos (kWh / ano)	6665.07 kWh / ano

Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)-	0.00W/m2
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	5.00 meses
Área Útil de Pavimento -	417.60 m2
Ganhos Internos Liquidos (W .meses/ano) - [x 0.72 = 30 * 24 kh/ mês]	0.00 W .meses
Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)-	0.00 kWh / ano

Ganhos Totais Úteis

$$GAMA = (\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos}) / \text{Necessidades Brutas de Aquecimento}$$

$$Gama = 0.55 \text{ -----} > \text{ETA} = 0.00$$

$$\text{Ganhos Totais úteis (kWh / ano) ---} > (\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos}) * \text{ETA}$$

$$\text{GANHOS TOTAIS ÚTEIS (kWh / ano) ---} > \mathbf{0.00 \text{ kWh / ano}}$$

**FOLHA DE CALCULO FC IV.2**

Calculo do indicador [Nic]

Necessidades nominais de energia de aquecimento

Perdas térmicas associadas :		W / °C
Envolvente Exterior (PC IV1.a)		384.76
Envolvente Interior (PC IV1.b)		56.38
Vãos Envidaaados (PC IV1.c)		78.00
Renovação do AR (PC IV1.d)		0.00

Coeficiente Global de Perdas (W / °C) 519.14

Graus-Dia no Local (°C.Dia) -----> 970.00

$$\frac{24h}{1000} \times 0.024 \text{ kh} =$$
 Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh / ano) 12085.58

Ganhos Totais Úteis (kWh / ano) : 0.00 kWh/ano

Necessidades de Aquecimento : 12085.58

/ Área Útil de pavimento = 417.60 m²**NIC (Necessidades Nominais Aquecimento (kWh / m² .ano) 28.94****NI (Necessidades Máximas (kWh / m² .ano) 120.36****VERIFICA**

**FOLHA DE CALCULO FC V.1a**

(Perdas)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Perdas térmicas associadas :

W / °C

Paredes Exteriores	(PC IV1.a)	117.28
Pavimentos Exteriores	(PC IV1.a)	187.92
Coberturas Exteriores	(PC IV1.b= PC IV1.a)	0.00
Envidracados Exteriores	(PC V1.b)	78.00
Renovação do AR	(PC IV1.d)	0.00

Perdas específicas totais (W/°C) ----- > 383.20 W / °C

Temperatura interior de referência (°C) ----- > 25°C

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento -----> 21.00°C

Diferença de temperaturas (Int - Ext) -----> 4.00°C

Perdas específicas totais * Temperatura Média (Delta T , a 25°C) 1532.80 W

 Junho Julho Agosto Setembro
 (30 + 31 + 31 + 30) = 122 * 24 Horas (Kh/ano) x 2.928 =
Perdas Térmicas Totais (kWh / ano) : 4488.04 kWh/ano

**FOLHA DE CALCULO FC V1c**

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos solares pela envolvente opaca

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	17.44 W/°C x	200.00 kWh/m2 =	3488.35
Norte-Este [NE] ----->	0.00 W/°C x	310.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	6.01 W/°C x	420.00 kWh/m2 =	2526.05
Sul-Este [SE] ----->	0.00 W/°C x	430.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	17.44 W/°C x	380.00 kWh/m2 =	6627.87
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 W/°C x	440.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	6.01 W/°C x	430.00 kWh/m2 =	2586.19
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 W/°C x	320.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	0.00 W/°C x	760.00 kWh/m2 =	0.00

Ganhos potenciados solares pela envolvente opaca = 15228.46 kWh /m2 /°C * W

Relação de potencial solar (x) 40 °C .m2 / W = 0.04 x = 609.14 kWh

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.c ----- > 609.14 kWh

**FOLHA DE CALCULO FC V.1d**

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Envidraçados

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	0.00 m2 x 200.00 kWh/m2 =	0.00
Norte-Este [NE] ----->	0.00 m2 x 310.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	0.00 m2 x 420.00 kWh/m2 =	0.00
Sul-Este [SE] ----->	0.00 m2 x 430.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	12.34 m2 x 380.00 kWh/m2 =	4689.20
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 m2 x 440.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	0.00 m2 x 430.00 kWh/m2 =	0.00
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 m2 x 320.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	0.00 m2 x 760.00 kWh/m2 =	0.00

Ganhos Totais Envidraçados = 4690.23 kWh

(Envidraçados)

GANHOS ,TOTAL QUADRO FC V1.d ----- > 4690.23 kWh

**FOLHA DE CALCULO FC V.1e**

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos Internos da fracção

Junho Julho Agosto Setembro
 (30 + 31 + 31 + 30) = 122 * 24 Horas (Kh/ano) 2.928 x

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)- 0.00W/m2

Área Útil de Pavimento - 417.60 m2

Ganhos Internos Brutos
 [0.00 W x 2.928 kh/ano]

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.e ----- > 0.00 kWh

FOLHA DE CALCULO FC V.1f

(Ganhos Totais)

Ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão) (Junho a Setembro)

4690.23 kWh ---> Ganhos solares pelos vãos envidraçados
 609.14 kWh ---> Ganhos solares pela envolvente opaca
 0.00 kWh ---> Ganhos internos

Q FCV1.d + Q FCV1.c + Q FCV1.e = 5299.37 kWh
Total FC V1.f

**FOLHA DE CÁLCULO FC V.1g**

(Nvc - Cálculo)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento (Nvc)

5299.37 kWh Ganhos térmicas Totais (Verão) (a)

4488.04 kWh Perdas térmicas Totais (Verão) (b)

GAMA = (Ganhos) / (Perdas) = a / b = 1.18

Inercia Tipo () -----> ETA = 0.40
-----ETA --> Factor de ganhos solares ---> Ganhos reais = G.Solares x (1 - ETA)

Ganhos Termicos Totais (quadro V.1F) * (1 - ETA) = 5299.37 x 0.60 (kWh

Necessidades brutas de arrefecimento = 3179.62 k W h
-----Consumo dos ventiladores (não há) = 0.00 k W h
-----TOTAL = 3179.62 k W h

417.60 m2 ---> Área util da fracção


7.61 Nvc ---> kWh / m2

22.00 NV ---> kWh / m2
-----**VERIFICA**

EDIFÍCIO DE SERVIÇO EM BRAGANÇA

FIGURA D-5, Folhas de cálculo conforme com o Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril

FRACÇÃO -----» EdS



Paredes Exteriores

Totais

327.60 m2

e

117.28 W/°C

Paredes exteriores [FC IV.1b]

	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
a----» Bloco cerâmico térmico	327.60 m2	0.358 W/m2°C	117.28 W/°C
(c)----» PS	121.80 m2		
(c)----» PE	42.00 m2		
(c)----» PN	121.80 m2		
(c)----» PW	42.00 m2		

Pavimentos em C/ com o Exterior (Totais)

417.60 m2

e

187.92 W/°C

Pavimentos exteriores [FC IV.1b]

	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
a----» L 1 // Bet de 15 Argex	417.60 m2	0.45 W/m2°C	187.92 W/°C
(c)----» Descrição (Aparece nas listagens)	417.60 m2		

Coberturas Exteriores (Totais)

0.00 m2

e

0.00 W/°C

Coberturas exteriores [FC IV.1b]

	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
a----»	0.00 m2	W/m2°C	0.00 W/°C
(c)----» Indique uma descrição	0.00 m2		

FRACÇÃO -----» EdS



Paredes e Pavimentos c/ cont. com o solo (Totais) 93.60 m e 65.52 W/°C

Paredes e Pavimentos [FC IV.1b]
em contacto com o solo

B [m] Psi [W/m°C] Psi.A [W/°C]

»---» Cave / Escadas	93.60 m	0.70 W/m°C	65.52 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	93.60 m		

Pontes Térmicas Lineares (Totais) 187.20 m e 14.04 W/°C

Pontes Térmicas lineares [FC IV.1b]
Ligações entre :

B [m] Psi [W/m°C] Psi.A [W/°C]

»---» Fachada Pavimentos com Têrreos (Totais)	93.60 m	e	14.04 W/°C
(c)---» Cave	93.60 m	0.15 W/m°C	14.04 W/°C
(c)---» Descrição que aparece nas listagens	93.60 m		
»---» Fachada com Pavimentos ---» Totais	93.60 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	93.60 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Parede	93.60 m		
»---» Fachada com Pavimentos Intermédias ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique um nome	0.00 m		
»---» Fachada com Coberturas Inclinadas ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Fachada com Varanda ou Terraço ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Pontes Duas Paredes Verticais ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Caixa de Estore ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Padieira Ombreira ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---»	0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C
(c)---» Indique uma descrição	0.00 m		
»---» Outras Pontes ---» Totais	0.00 m	e	0.00 W/°C
(c)---» ponte térmica tipo caleira ou courette	0.00 m	0.50 W/m°C	0.00 W/°C



Perdas Envolvente Interior (Totais) 417.60 m e 56.38 W/°C

Perdas na Envolvente Interior [FC IV.1b]		Área		U		Tau		A.U.Tau	
Ligações entre :		[m ²]		[W/m ² °C]				[W/°C]	
»---»	Paredes C/ Não úteis	Totais ---»»	0.00 m	e	0.00 W/°C				
(e)---			0.00 m ²		W/m ² °C			0.00 W/°C	
(e)---	Indique uma descrição		0.00 m						
»---»	Gerais Pavimentos C/ Não úteis	Totais ---»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C				
(e)---			0.00 m ²		W/m ² °C			0.00 W/°C	
(e)---	Indique uma descrição		0.00 m ²						
»---»	C/ Coberturas n/ úteis	Totais ---»»	417.60 m ²	e	56.38 W/°C				
(e)---	Laje L2 - ICB 26+15		417.60 m		0.45 W/m ² °C	0.3		56.38 W/°C	
(e)---	Indique uma descrição		417.60 m ²						
»---»	Vãos C/contacto n/úteis	Totais ---»»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C				
(e)---	Janela J1		0.00 m ²		2.45 W/m ² °C	0.50		0.00 W/°C	
»---»	Pontes Tau > 0.7 Paredes C// n/úteis	Totais ---»»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C				
(e)---	Seção do tipo 1		0.00 m		2.45 W/m ² °C	0.85		0.00 W/°C	

Vãos Envidraçados Exteriores Totais ---»»»» 31.20 m² e 78.00 W/°C

Vão Envidraças exteriores [FC IV.1b]		Área		U		U.A	
[PERDAS]		[m ²]		[W/m ² °C]		[W/°C]	
Envidraçados Verticais	Total---»»»	31.20 m ²	e	78.00 W/°C			
(e)---	Janela de Alumínio JJ1	31.20 m ²		2.5 W/m ² °C		78.00 m ²	
Envidraçados Horizontais	Totais ---»»»	0.00 m ²	e	0.00 W/°C			
(e)---	Clarejola em aço e vidro JC1	0.00 m ²		3.15 W/m ² °C		0.00 m ²	



FOLHA DE CALCULO FC IV.1e

Ganhos Solares

Área efectiva Total equivalente na orientação sul (m2)	12.34 m2
Radiação Incidente num envidraçado a sul (G S u l)	
[Zona] (kWh / m2.mês - do quadro 8 (Anexo III))----- >	90.00 GSul (kWh/m2) . mês
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	8.00 meses
Ganhos Solares Brutos (kWh / ano)	8886.76 kWh / ano

Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)-	0.00W/m2
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	8.00 meses
Área Útil de Pavimento -	417.60 m2
Ganhos Internos Liquidos (W .meses/ano) - [x 0.72 = 30 * 24 kh/ mês]	0.00 W .meses
Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)-	0.00 kWh / ano

Ganhos Totais Úteis

GAMA = (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) / Necessidades Brutas de Aquecimento Gama = 0.25 -----> ETA = 0.00	
Ganhos Totais úteis (kWh / ano) ---> (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) * ETA	
GANHOS TOTAIS ÚTEIS (kWh / ano) ---> 0.00 kWh / ano	

**FOLHA DE CALCULO FC IV.2**

Calculo do indicador [Nic]

Necessidades nominais de energia de aquecimento

-----»
Perdas térmicas associadas : W / °C

Envolvente Exterior (PC IV1.a)	384.76
Envolvente Interior (PC IV1.b)	56.38
Vãos Envidaçados (PC IV1.c)	78.00
Renovação do AR (PC IV1.d)	0.00

-----»
Coeficiente Global de Perdas (W / °C) 519.14

Graus-Dia no Local (°C.Dia) -----» 2850.00

$$\frac{24h}{1000} \times 0.024 \text{ kh} =$$
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh / ano) 35509.18

Ganhos Totais Úteis (kWh / ano) : 0.00 kWh/ano

Necessidades de Aquecimento : 35509.18

/ Área Útil de pavimento = 417.60 m²**NIC (Necessidades Nominais Aquecimento (kWh / m² .ano) 85.03****NI (Necessidades Máximas (kWh / m² .ano) 120.36**
-----»**V E R I F I C A**

**FOLHA DE CALCULO FC V.1a**

(Perdas)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Perdas térmicas associadas : W / °C

Paredes Exteriores	(PC IV1.a)	117.28
Pavimentos Exteriores	(PC IV1.a)	187.92
Coberturas Exteriores	(PC IV1.b= PC IV1.a)	0.00
Envidracados Exteriores	(PC VI.b)	78.00
Renovação do AR	(PC IV1.d)	0.00

Perdas específicas totais (W/°C) ----- > 383.20 W / °C

Temperatura interior de referência (°C) ----- > 25°C

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento -----> 19.00°C

Diferença de temperaturas (Int - Ext) -----> 6.00°C

Perdas específicas totais * Temperatura Média (Delta T , a 25°C) 2299.20 W

Junho Julho Agosto Setembro
 (30 + 31 + 31 + 30) = 122 * 24 Horas (Kh/ano) x 2.928 =

Perdas Térmicas Totais (kWh / ano) : 6732.06 kWh/ano

**FOLHA DE CÁLCULO FC V1.c**

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos solares pela envolvente opaca

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	17.44 W/°C x 200.00 kWh/m2 =	3488.35
Norte-Este [NE] ----->	0.00 W/°C x 320.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	6.01 W/°C x 450.00 kWh/m2 =	2706.48
Sul-Este [SE] ----->	0.00 W/°C x 470.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	17.44 W/°C x 420.00 kWh/m2 =	7325.54
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 W/°C x 470.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	6.01 W/°C x 450.00 kWh/m2 =	2706.48
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 W/°C x 320.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	0.00 W/°C x 790.00 kWh/m2 =	0.00

Ganhos potenciados solares pela envolvente opaca = 16226.85 kWh /m2 /°C * W

Relação de potencial solar (x) 40 °C .m2 / W = 0.04 x = 649.07 kWh

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.c ----- > 649.07 kWh

**FOLHA DE CALCULO FC V.1d**

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Envidraçados

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	0.00 m2 x 200.00 kWh/m2 =	0.00
Norte-Este [NE] ----->	0.00 m2 x 320.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	0.00 m2 x 450.00 kWh/m2 =	0.00
Sul-Este [SE] ----->	0.00 m2 x 470.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	12.34 m2 x 420.00 kWh/m2 =	5182.80
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 m2 x 470.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	0.00 m2 x 450.00 kWh/m2 =	0.00
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 m2 x 320.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	0.00 m2 x 790.00 kWh/m2 =	0.00

Ganhos Totais Envidraçados = 5183.94 kWh

(Envidraçados)

GANHOS ,TOTAL QUADRO FC V1.d ----- > 5183.94 kWh

**FOLHA DE CALCULO FC V.1e**

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos Internos da fracção

Junho Julho Agosto Setembro
 (30 + 31 + 31 + 30) = 122 * 24 Horas (Kh/ano) 2.928 x

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)- 0.00W/m2

Área Útil de Pavimento - 417.60 m2

Ganhos Internos Brutos
 [0.00 W x 2.928 kh/ano]

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.e ----- > 0.00 kWh

FOLHA DE CALCULO FC V.1f

(Ganhos Totais)

Ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão) (Junho a Setembro)

5183.94 kWh ---> Ganhos solares pelos vãos envidraçados
 649.07 kWh ---> Ganhos solares pela envolvente opaca
 0.00 kWh ---> Ganhos internos

Q FCV1.d + Q FCV1.c + Q FCV1.e = 5833.02 kWh
Total FC V1.f

**FOLHA DE CALCULO FC V.1g**

(Nvc - Cálculo)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento (Nvc)

5833.02 kWh Ganhos térmicas Totais (Verão) (a)

6732.06 kWh Perdas térmicas Totais (Verão) (b)

GAMA = (Ganhos) / (Perdas) = a / b = 0.87

Inercia Tipo () -----> ETA = 0.40
-----ETA --> Factor de ganhos solares ---> Ganhos reais = G.Solares x (1 - ETA)

Ganhos Termicos Totais (quadro V.1F) * (1 - ETA) = 5833.02 x 0.60 (kWh

Necessidades brutas de arrefecimento = 3499.81 k W h
-----Consumo dos ventiladores (não há) = 0.00 k W h
-----TOTAL = 3499.81 k W h

417.60 m2 ---> Área util da fracção

8.38 Nvc ---> kWh / m2

18.00 NV ---> kWh / m2
-----**VERIFICA**

ANEXO E

QUANTIFICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE ALVENARIA ESTRUTURAL

1. QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂ NO FABRICO DE ALVENARIA CERÂMICA UTILIZADA NAS UNIDADES FUNCIONAIS

Parede exterior com vão de 4 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

$$\begin{array}{rcl} 10,80\text{m}^2 \times 0,29\text{m} \times 1300\text{kg/m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 407,16 \text{ kgCO}_2 \\ 10,80\text{m}^2 \times 60\text{kg/m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 138,02 \text{ kgCO}_2 \\ \hline \text{SOMA} & & 545,18 \text{ kgCO}_2 \end{array}$$

Parede exterior com vão de 6 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

$$\begin{array}{rcl} 16,20\text{m}^2 \times 0,29\text{m} \times 1300\text{kg/m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 610,74 \text{ kgCO}_2 \\ 16,20\text{m}^2 \times 60\text{kg/m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 207,04 \text{ kgCO}_2 \\ \hline \text{SOMA} & & 817,78 \text{ kgCO}_2 \end{array}$$

Parede exterior com vão de 7 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

$$\begin{array}{rcl} 18,90\text{m}^2 \times 0,29\text{m} \times 1300\text{kg/m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 712,53 \text{ kgCO}_2 \\ 18,90\text{m}^2 \times 60\text{kg/m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 241,54 \text{ kgCO}_2 \\ \hline \text{SOMA} & & 954,07 \text{ kgCO}_2 \end{array}$$

Parede interior com vão de 4 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 15 kg/m²

$$\begin{array}{rcl} 10,80\text{m}^2 \times 0,115\text{m} \times 1300\text{kg/m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 161,46 \text{ kgCO}_2 \\ 10,80\text{m}^2 \times 15\text{kg/m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 34,51 \text{ kgCO}_2 \\ \hline \text{SOMA} & & 195,97 \text{ kgCO}_2 \end{array}$$

Parede interior com vão de 6 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 15 kg/m²

$$\begin{array}{rcl} 16,20\text{m}^2 \times 0,115\text{m} \times 1300\text{kg/m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 242,19 \text{ kgCO}_2 \\ 16,20\text{m}^2 \times 15\text{kg/m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 51,76 \text{ kgCO}_2 \\ \hline \text{SOMA} & & 293,95 \text{ kgCO}_2 \end{array}$$

Parede interior com vão de 7 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 15 kg/m²

$$\begin{array}{rcl} 18,90\text{m}^2 \times 0,115\text{m} \times 1300\text{kg/m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 282,56 \text{ kgCO}_2 \\ 18,90\text{m}^2 \times 15\text{kg/m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg} & = & 60,39 \text{ kgCO}_2 \\ \hline \text{SOMA} & & 342,95 \text{ kgCO}_2 \end{array}$$

TABELA E-1, Estimativa de emissões de CO₂ por volume de bloco cerâmico para as unidades funcionais

Unidades funcionais	Área (m ²)	Espessura (m)	Emissão CO ₂ (kgCO ₂)	Índice (kgCO ₂ /m ³)
Exterior vão 4m	10.80	0.290	545.18	174.07
Exterior vão 6m	16.20	0.290	817.78	174.07
Exterior vão 7m	18.90	0.290	954.07	174.07
Interior vão 4m	10.80	0.115	195.97	157.79
Interior vão 6m	16.20	0.115	293.95	157.78
Interior vão 7m	18.90	0.115	342.95	157.79

2. QUANTIFICAÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA NA FÁBRICA DE ALVENARIA CERÂMICA UTILIZADA NA UNIDADES FUNCIONAIS

Parede exterior com vão de 4 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

$$\begin{aligned}
 10,80\text{m}^2 \times 0,29\text{m} \times 1300\text{kg/m}^3 \times 1,02\text{MJ/kg} &= 4153 \text{ MJ} \\
 10,80\text{m}^2 \times 60\text{kg/m}^2 \times 1,40\text{MJ/kg} &= 907 \text{ MJ} \\
 \text{SOMA} &= 5060 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Parede exterior com vão de 6 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

$$\begin{aligned}
 16,20\text{m}^2 \times 0,29\text{m} \times 1300\text{kg/m}^3 \times 1,02\text{MJ/kg} &= 6230 \text{ MJ} \\
 16,20\text{m}^2 \times 60\text{kg/m}^2 \times 1,40\text{MJ/kg} &= 1361 \text{ MJ} \\
 \text{SOMA} &= 7591 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Parede exterior com vão de 7 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

$$\begin{aligned}
 18,90\text{m}^2 \times 0,29\text{m} \times 1300\text{kg/m}^3 \times 1,02\text{MJ/kg} &= 7268 \text{ MJ} \\
 18,90\text{m}^2 \times 60\text{kg/m}^2 \times 1,40\text{MJ/kg} &= 1588 \text{ MJ} \\
 \text{SOMA} &= 8856 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Parede interior com vão de 4 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 15 kg/m²

$$\begin{aligned}
 10,80\text{m}^2 \times 0,115\text{m} \times 1300\text{kg/m}^3 \times 1,02\text{MJ/kg} &= 1647 \text{ MJ} \\
 10,80\text{m}^2 \times 15\text{kg/m}^2 \times 1,40\text{MJ/kg} &= 227 \text{ MJ} \\
 \text{SOMA} &= 1874 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Parede interior com vão de 6 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 15 kg/m²

$$\begin{aligned}
 16,20\text{m}^2 \times 0,115\text{m} \times 1300\text{kg/m}^3 \times 1,02\text{MJ/kg} &= 2470 \text{ MJ} \\
 16,20\text{m}^2 \times 15\text{kg/m}^2 \times 1,40\text{MJ/kg} &= 340 \text{ MJ} \\
 \text{SOMA} &= 2810 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Parede interior com vão de 7 m, pé direito 2,70 m, Argamassa 15 kg/m²

18,90m ² x 0,115m x 1300kg/m ³ x 1,02MJ/kg	=	2882 MJ
18,90m ² x 15kg/m ² x 1,40MJ/kg	=	397 MJ
SOMA		3279 MJ

TABELA E-2, Estimativa de consumo de energia por volume de bloco cerâmico para as unidades funcionais

Unidades funcionais	Área (m²)	Espessura (m)	Consumo de Energia (MJ)	Índice (MJ/m³)
Exterior vão 4m	10.80	0.290	5060	1,616
Exterior vão 6m	16.20	0.290	7591	1,616
Exterior vão 7m	18.90	0.290	8856	1,616
Interior vão 4m	10.80	0.115	1874	1,509
Interior vão 6m	16.20	0.115	2810	1,508
Interior vão 7m	18.90	0.115	3279	1,509

3. QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂ NO FABRICO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO UTILIZADOS NO EDIFÍCIO MODELO COM A ESTRUTURA EM ALVENARIA

TABELA E-3, Quantificação de emissões de CO₂ na fábrica dos materiais de construção para o modelo ideal

Descrição	Área/Volume (m² ou m³)	Peso específico (kg/m³ ou m²)	Emissão específica (kgCO₂/kg)	Emissão CO₂ (kgCO₂)
V0	58.17	2375	0.10	13,815
V1 - 6	41.22	2375	0.10	9,790
L0	21.28	2375	0.10	5,054
L1 - 6	163.13	2375	0.10	38,743
E1 - 6	8.84	2375	0.10	2,100
Aço, armadura	5.12	7700	1.710	67,415
PE1 - 6, 290mm	226.32	1300	0.100	29,422
PI1 - 6, 115mm	59.33	1300	0.100	7,713
AE 60kg/m ²	780.40	60	0.213	9,974

Descrição	Área/Volume (m ² ou m ³)	Peso específico (kg/m ³ ou m ²)	Emissão específica (kgCO ₂ /kg)	Emissão CO ₂ (kgCO ₂)
Al 15kg/m ²	515.90	15	0.213	1,648
SOMA				185,673

Simbologia:

V0	Viga de Fundação
L0	Laje de betão maciça de fundação
V1 - 6	Vigas de pisos 1 á 6
E	Escada de betão armado
PE1 - 6	Parede exterior de alvenaria estrutural
PI1 - 6	Parede interior de alvenaria estrutural
AE	Argamassa para parede exterior, 60 kg/m ²
AI	Argamassa para parede interior, 15 kg/m ²

A quantidade do material da construção a transportar e (valores de cálculo acima):

Blocos cerâmicos	(parede exterior)	226,32 m ³	294 216 kg
Blocos cerâmicos	(parede interior)	59,33 m ³	77 129 kg
Betão		292,64 m ³	695 020 kg
Aço		5,12 m ³	39 424 kg
Argamassa	780,40 x 60 + 515,90 x 15 (m ² / kg m ²)		54 563 kg
Total a transportar:			1 160 352 kg

4. QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ NO TRANSPORTE

O valor significativo de emissão de CO₂ no transporte com camiões articulados com cargas superiores a 33 t é de 0,929 kg CO₂ / km.

Para o transporte de blocos cerâmicos considera-se que a fábrica mais próxima de Lisboa está a 70 km de distancia e que irá fornecer os materiais com a qualidade estrutural e térmica necessária. No cálculo deve ser considerado também o regresso do camião.

$$0,929 \text{ kg CO}_2 / \text{km} \times 70 \text{ km} \times 2 = 130,06 \text{ kg CO}_2$$

Para 294.216 kg de tijolo para a parede exterior precisa 8 camiões de 37 toneladas para o transporte completo do material.

$$130,06 \text{ kg CO}_2 \times 8 = 1040,48 \text{ kg CO}_2$$

O tijolo de parede interior é fornecido pela a mesma fabrica a 70 km de distância de Lisboa. Três camiões de 30 toneladas são precisos para transportar 77.129 kg da carga de material completa.

$$130,06 \text{ kg CO}_2 \times 3 = \underline{390,18 \text{ kg CO}_2}$$

O fornecimento de betão pronto pela central de betão à distância máxima de 50 km com betoneiras rígidas gera um valor de produção de CO₂ de 0,747 kgCO₂/km. Assim, cada viagem (ida e volta) produz:

$$0,747 \text{ kg CO}_2 / \text{km} \times 50 \text{ km} \times 2 = 74,70 \text{ kg CO}_2$$

Com a quantidade de 695.020 kg de betão para colocar nas lajes e vigas, considerando que a betoneira tem a capacidade de 12t, as viagens para fornecer o betão serão 58.

$$74,70 \text{ kg CO}_2 \times 58 = \underline{4332,60 \text{ kg CO}_2}$$

O aço vem de Bilbao, siderurgia conhecida, com uma distancia de 900 km até Lisboa. Com a quantidade de 39.424kg, dois camiões rígidos servem para fornecer o aço todo.

$$0,747 \text{ kg CO}_2 / \text{km} \times 900 \text{ km} \times 2 = \underline{1344,60 \text{ kg CO}_2}$$

O cimento vem de Leiria, a 200 km de distância até à central de betão pronto.

$$0,929 \text{ kg CO}_2 / \text{km} \times 200 \text{ km} \times 2 = 371,60 \text{ kg CO}_2$$

No betão armado, existe cerca de 14% em cimento, calcula-se que com 695.020 kg de betão há cerca de 97.303 kg de cimento o que implica três transportes com um camião de 37 toneladas.

$$371,60 \text{ kg CO}_2 \times 3 = \underline{1114,80 \text{ kg CO}_2}$$

A industria de argamassa está localizada a uma distância de 30 km a Lisboa e com uma quantidade estimada de 54.563 kg calcula-se que com dois camiões de 30 t se consiga colocar na obra.

$$0,929 \text{ kg CO}_2 / \text{km} \times 30 \text{ km} \times 2 \times 2 = \underline{111,48 \text{ kg CO}_2}$$

O valor da produção de CO₂ pelo transporte atinge um total de 8.335 kgCO₂. Relativamente ao valor de produção de CO₂ para o fabrico de material de construção de 185.673 kgCO₂ faz 4,30%. No total, para a construção do modelo em construção alvenaria estrutural a emissão de CO₂ é de 194.008 kg.

5. QUANTIFICAÇÃO DA ENERGIA INCORPORADA NO EDIFÍCIO MODELO COM A ESTRUTURA EM ALVENARIA

TABELA E-4, Quantificação da energia incorporada no modelo ideal com a estrutura em alvenaria

Descrição	Área/ Volume (m ² ou m ³)	Peso específico (kg/m ³ ou m ²)	Energia específica (MJ/kg)	Energia incorporada (MJ)
V0	58.17	2375	0.81	111,905
V1 - 6	41.22	2375	0.81	79,297
L0	21.28	2375	0.81	40,937
L1 - 6	163.13	2375	0.81	313,821
E1 - 6	8.84	2375	0.81	17,006
Aço, armadura	5.12	7700	24.60	969,830
PE1 - 6, 290mm	226.32	1300	1.02	300,100
PI1 - 6, 115mm	59.33	1300	1.02	78,672
AE 60kg/m ²	780.40	60	1.40	65,554
AI 15kg/m ²	515.90	15	1.40	10,834
SOMA				1,987,956

Simbologia:

V0	Viga de Fundação;	L0	Laje de betão maciça de fundação
V1 - 6	Vigas de pisos 1 á 6		
E	Escada de betão armado		
PE1 - 6	Parede exterior de alvenaria estrutural		
PI1 - 6	Parede interior de alvenaria estrutural		
AE	Argamassa para parede exterior, 60 kg/m ²		
AI	Argamassa para parede interior, 15 kg/m ²		

TABELA E-5, Quantificação de energia utilizada para o transporte dos materiais de construção para o edifício modelo com a estrutura em alvenaria

Descrição	Peso (kg)	Distancia (km)	Energia específica (MJ/kg.km)	Energia (MJ)
Parede exterior	294,216	70	0.000402	8,279
Parede interior	77,129	70	0.000402	2,170
Betão	695,020	50	0.000402	13,970
Cimento	97,303	200	0.000402	7,823
Aço	39,424	900	0.000402	14,264
Argamassa	54,563	30	0.000402	658
SOMA				47,164

6. CUSTO DA PAREDE EXTERIOR COM UM VÃO DE 4 m

TABELA E-6, Orçamento da parede exterior com um vão de 4m

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
Parede exterior	Parede, de meia vez de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x29x19 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	10.80	m²	31.03	335.12
	TOTAL				335.12

7. CUSTO DA PAREDE EXTERIOR COM UM VÃO DE 6 m

TABELA E-7, Orçamento da parede exterior com um vão de 6m

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
Parede exterior	Parede, de meia vez de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x29x19 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	16.20	m²	31.03	502.69
	TOTAL				502.69

8. CUSTO DA PAREDE EXTERIOR COM UM VÃO DE 7 m

TABELA E-8, Orçamento da parede exterior com um vão de 7m

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
Parede exterior	Parede, de meia vez de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x29x19 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	18.90	m²	31.03	586.47
	TOTAL				586.47

9. CUSTO DA PAREDE INTERIOR COM UM VÃO DE 4 m

TABELA E-9, Orçamento da parede interior com um vão de 4m

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
Parede interior	Parede divisória, de um pano de 15 cm de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x20x15 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	10.80	m²	11.89	128.41
	TOTAL				128.41

10. CUSTO DA PAREDE INTERIOR COM UM VÃO DE 6 m

TABELA E-10, Orçamento da parede interior com um vão de 6m

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
Parede interior	Parede divisória, de um pano de 15 cm de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x20x15 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	16.20	m ²	11.89	192.62
	TOTAL				192.62

11. CUSTO DA PAREDE INTERIOR COM UM VÃO DE 7 m

TABELA E-11, Orçamento da parede interior com um vão de 7m

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
Parede interior	Parede divisória, de um pano de 15 cm de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x20x15 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	18.90	m ²	11.89	224.72
	TOTAL				224.72

12. RESUMO DE CUSTOS DAS UNIDADES FUNCIONAIS EM ALVENARIA ESTRUTURAL (EUROS)

TABELA E-12, Resumo dos orçamentos das paredes exteriores e interiores

PAREDE	4m	6m	7m
EXTERIOR	335.12	502.69	586.47
INTERIOR	128.41	192.62	224.72

13. CUSTO DA ESTRUTURA DE EDIFÍCIO MÓDELO EM ALVENARIA ESTRUTURAL

TABELA E-13, Orçamento do modelo ideal

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
V0	Viga de fundação, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, quantidade 60 kg/m³, separador plástico rígido, 1 operário + 1 servente	58.17	m³	163.01	9,482.29
CO	Cofragem recuperável metálica em lintel para fundação, 1 operário + 1 servente	88.54	m²	13.37	1,183.78
L0	Laje maciça, horizontal, altura 20 cm; betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua; aço A400 NR, quantidade 22 kg/m², cofragem de madeira, até 3 m de altura livre de piso. Sem incluir repercussão de pilares, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	106.39	m²	82.94	8,823.99
V1-6	Viga alta de betão armado, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, quantidade 150 kg/m³, cofragem de madeira, até 3 m de altura livre de piso, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	41.22	m³	427.93	17,639.27
L1-6	Laje maciça, horizontal, altura 20 cm; betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua; aço A400 NR, quantidade 22 kg/m², cofragem de madeira, até 3 m de altura livre de piso. Sem incluir repercussão de pilares, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	815.67	m²	78.43	63,973.00
E1-6	Laje de escada, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, 18 kg/m², e=15 cm, cofragem de madeira, com degraus de betão, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	50.51	m²	106.40	5,374.26
PE1-6	Parede, de meia vez de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x29x19 cm, assente com argamassa de cimento M-7.5, 1 operário + 1 servente	780.40	m²	31.03	24,215.81
PI1-6	Parede divisória, de um pano de 15 cm de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 237x115x70 mm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	515.90	m²	11.89	6,134.05
	TOTAL				136,826.46

14. QUANTIFICAÇÃO DA DURAÇÃO TOTAL DA OBRA DO EDIFÍCIO MODELO E POR PISO

FUNDAÇÃO¹

Aplicação cofragem vigas: $0,625 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3125 \text{ h/m}^2$;
 Aplicação de armadura vigas: $0,1336 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0668 \text{ h/10kg}$;
 Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =
 $0,025 + 0,12 + 0,3482 = 0,4932 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1644 \text{ h/m}^3$;
 Aplicação de armadura lajes: $0,0962 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0481 \text{ h/10kg}$;
 Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =
 $0,025 + 0,12 + 0,3782 = 0,5232 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1744 \text{ h/m}^3$;

TABELA E-14, Orçamento de mão-de-obra de Fundação

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade m ² ,m ³ ,kg	Duração dias
Fundação				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m ²	88.54	3.46
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	5,427	4.53
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	3,827	2.30
Vigas, betonagem	0.1644	h/m ³	58.17	1.20
Laje, betonagem	0.1744	h/m ³	21.28	0.46
SOMA				11.95

PISO 1

Aplicação cofragem vigas: $0,625 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3125 \text{ h/m}^2$;
 Aplicação de armadura vigas: $0,1336 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0668 \text{ h/10kg}$;
 Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =
 $0,025 + 0,12 + 0,3482 = 0,4932 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1644 \text{ h/m}^3$;
 Aplicação cofragem lajes: $0,58125 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1938 \text{ h/m}^2$;
 Aplicação de armadura lajes: $0,0962 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0481 \text{ h/10kg}$;
 Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =
 $0,025 + 0,12 + 0,3782 = 0,5232 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1744 \text{ h/m}^3$;
 Aplicação cofragem escada: $0,725 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3625 \text{ h/m}^2$;
 Aplicação de armadura escada: $0,1228 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0614 \text{ h/10kg}$;
 Betonagem escada: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =
 $0,025 + 0,12 + 0,7532 = 0,8982 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,2994 \text{ h/m}^3$;
 Assentamento das paredes de alvenaria incluindo montagem e desmontagem dos andaimes
 interior: 1 equipa $\Rightarrow 1,19 \text{ h/m}^2$; exterior: 1 equipa $\Rightarrow 1,29 \text{ h/m}^2$;

¹ Actualização: os rendimentos relacionados ao betão são divididos pelo o factor 4

TABELA E-15, Orçamento de mão-de-obra do Piso 1

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m²,m³,kg)	Duração (dias)
Piso 1				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m²	22.46	0.88
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	2,858	2.39
Laje, cofragem	0.1938	h/m²	113.94	2.76
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	2,870	1.73
Vigas, betonagem	0.1644	h/m³	6.90	0.14
Laje, betonagem	0.1744	h/m³	26.29	0.57
Escada, cofragem	0.3625	h/m²	12.03	0.55
Escada, colocar armadura	0.0614	h/10kg	127	0.10
Escada, betonagem	0.2994	h/m³	1.92	0.07
Parede exterior, 290mm	1.29	h/m²	130.07	20.97
Parede interior, 115mm	1.19	h/m²	85.98	12.79
SOMA				42.94

PISO 2

Cofragem vigas: $2,5 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura vigas: $0,534 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0668 \text{ H/10kg}$;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,05 + 0,12 + 1,17 = 1,34 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.1675 \text{ H/m}^3$;

Cofragem lajes: $1,55 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1938 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura lajes: $0,385 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0481 \text{ H/10kg}$;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,05 + 0,12 + 1,25 = 1,42 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.1775 \text{ H/m}^3$;

Cofragem escada: $2,9 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3625 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura escada: $0,491 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0614 \text{ H/10kg}$;

Betonagem escada: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,05 + 0,12 + 2,25 = 2,42 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.3025 \text{ H/m}^3$;

Assentamento de parede de alvenaria interior: $34 \times 0,561 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,19 \text{ H/m}^2$;
com factor andaime $1,19 \Rightarrow 1,4161 \text{ H/m}^2$;

Assentamento de parede de alvenaria exterior: $50 \times 0,414 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,29 \text{ H/m}^2$;
com factor andaime $1,17 \Rightarrow 1,5093 \text{ H/m}^2$;

TABELA E-16, Orçamento de mão-de-obra de Piso 2

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m²,m³,kg)	Duração (dias)
Piso 2				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m²	27.20	1.06
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	2,728	2.28
Laje, cofragem	0.1938	h/m²	139.23	3.37
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	2,870	1.73
Vigas, betonagem	0.1675	h/m³	6.89	0.14
Laje, betonagem	0.1775	h/m³	26.29	0.58
Escada, cofragem	0.3625	h/m²	9.62	0.44
Escada, colocar armadura	0.0614	h/10kg	124	0.10
Escada, betonagem	0.3025	h/m³	1.73	0.07
Parede exterior, 290mm	1.5093	h/m²	130.07	24.54
Parede interior, 115mm	1.4161	h/m²	85.98	15.22
SOMA				49.52

PISO 3

Cofragem vigas: $2,5 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura vigas: $0,534 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0668 \text{ H/10kg}$;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,075 + 0,12 + 1,17 = 1,365 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.1706 \text{ H/m}^3$;

Cofragem lajes: $1,55 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1938 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura lajes: $0,385 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0481 \text{ H/10kg}$;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,075 + 0,12 + 1,25 = 1,445 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.1806 \text{ H/m}^3$;

Cofragem escada: $2,9 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3625 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura escada: $0,491 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0614 \text{ H/10kg}$;

Betonagem escada: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,075 + 0,12 + 2,25 = 2,445 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.3056 \text{ H/m}^3$;

Assentamento de parede de alvenaria interior: $34 \times 0,561 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,19 \text{ H/m}^2$;
com factor andaime $1,19 \Rightarrow 1,4161 \text{ H/m}^2$;

Assentamento de parede de alvenaria exterior: $50 \times 0,414 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,29 \text{ H/m}^2$;
com factor andaime $1,17 \Rightarrow 1,5093 \text{ H/m}^2$;

TABELA E-17, Orçamento de mão-de-obra de Piso 3

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m²,m³,kg)	Duração (dias)
Piso 3				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m²	27.20	1.06

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m²,m³,kg)	Duração (dias)
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	2,398	2.00
Laje, cofragem	0.1938	h/m²	139.23	3.37
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	2,870	1.73
Vigas, betonagem	0.1706	h/m³	6.89	0.15
Laje, betonagem	0.1806	h/m³	26.29	0.59
Escada, cofragem	0.3625	h/m²	9.62	0.44
Escada, colocar armadura	0.0614	h/10kg	124	0.10
Escada, betonagem	0.3056	h/m³	1.73	0.07
Parede exterior, 290mm	1.5093	h/m²	130.07	24.54
P interior, 115mm	1.4161	h/m²	85.98	15.22
SOMA				49.26

PISO 4

Cofragem vigas: 2,5 Hxh/m²; 1 equipa => 0,3125 H/m²;

Colocação de armadura vigas: 0,534 Hxh/10kg; 1 equipa => 0,0668 H/10kg;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =
 $0,1 + 0,12 + 1,17 = 1,39$ Hxh/m³; 1 equipa => 0.17375 H/m³;

Cofragem lajes: 1,55 Hxh/m²; 1 equipa => 0,1938 H/m²;

Colocação de armadura lajes: 0,385 Hxh/10kg; 1 equipa => 0,0481 H/10kg;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =
 $0,1 + 0,12 + 1,25 = 1,47$ Hxh/m³; 1 equipa => 0.18375 H/m³;

Cofragem escada: 2,9 Hxh/m²; 1 equipa => 0,3625 H/m²;

Colocação de armadura escada: 0,491 Hxh/10kg; 1 equipa => 0,0614 H/10kg;

Betonagem escada: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =
 $0,1 + 0,12 + 2,25 = 2,47$ Hxh/m³; 1 equipa => 0.30875 H/m³;

Assentamento de parede de alvenaria interior: 34 x 0,561 Hxh/m²; 1 equipa => 1,19 H/m²; com
factor andaime 1,19 => 1,4161 H/m²;

Assentamento de parede de alvenaria exterior: 50 x 0,414 Hxh/m²; 1 equipa => 1,29 H/m²;
com factor andaime 1,17 => 1,5093 H/m²;

TABELA E-18, Orçamento de mão-de-obra de Piso 4

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m²,m³,kg)	Duração (dias)
Piso 4				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m²	27.20	1.06
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	1,993	1.66
Laje, cofragem	0.1938	h/m²	139.23	3.37
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	2,870	1.73
Vigas, betonagem	0.17375	h/m³	6.89	0.15

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m²,m³,kg)	Duração (dias)
Laje, betonagem	0.18375	h/m³	26.29	0.60
Escada, cofragem	0.3625	h/m²	9.62	0.44
Escada, colocar armadura	0.0614	h/10kg	124	0.10
Escada, betonagem	0.30875	h/m³	1.73	0.07
Parede exterior, 290mm	1.5093	h/m²	130.07	24.54
P interior, 115mm	1.4161	h/m²	85.98	15.22
SOMA				48.94

PISO 5

Cofragem vigas: 2,5 Hxh/m²; 1 equipa => 0,3125 H/m²;

Colocação de armadura vigas: 0,534 Hxh/10kg; 1 equipa => 0,0668 H/10kg;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = 0,125 + 0,12 + 1,17 = 1,415 Hxh/m³; 1 equipa => 0.1769 H/m³;

Cofragem lajes: 1,55 Hxh/m²; 1 equipa => 0,1938 H/m²;

Colocação de armadura lajes: 0,385 Hxh/10kg; 1 equipa => 0,0481 H/10kg;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = 0,125 + 0,12 + 1,25 = 1,495 Hxh/m³; 1 equipa => 0.1869 H/m³;

Cofragem escada: 2,9 Hxh/m²; 1 equipa => 0,3625 H/m²;

Colocação de armadura escada: 0,491 Hxh/10kg; 1 equipa => 0,0614 H/10kg;

Betonagem escada: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = 0,125 + 0,12 + 2,25 = 2,495 Hxh/m³; 1 equipa => 0.3119 H/m³;

Assentamento de parede de alvenaria interior: 34 x 0,561 Hxh/m²; 1 equipa => 1,19 H/m²; com factor andaime 1,19 => 1,4161 H/m²;

Assentamento de parede de alvenaria exterior: 50 x 0,414 Hxh/m²; 1 equipa => 1,29 H/m²; com factor andaime 1,17 => 1,5093 H/m²;

TABELA E-19, Orçamento de mão-de-obra de Piso 5

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m²,m³,kg)	Duração (dias)
Piso 5				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m²	27.20	1.06
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	1,689	1.41
Laje, cofragem	0.1938	h/m²	139.23	3.37
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	2,870	1.73
Vigas, betonagem	0.1769	h/m³	6.89	0.15
Laje, betonagem	0.1869	h/m³	26.29	0.61
Escada, cofragem	0.3625	h/m²	9.62	0.44

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m²,m³,kg)	Duração (dias)
Escada, colocar armadura	0.0614	h/10kg	124	0.10
Escada, betonagem	0.3119	h/m³	1.73	0.07
Parede exterior, 290mm	1.5093	h/m²	130.07	24.54
P interior, 115mm	1.4161	h/m²	85.98	15.22
SOMA				48.70

PISO 6

Cofragem vigas: $2,5 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura vigas: $0,534 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0668 \text{ H/10kg}$;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,15 + 0,12 + 1,17 = 1,44 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.18 \text{ H/m}^3$;

Cofragem lajes: $1,55 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1938 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura lajes: $0,385 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0481 \text{ H/10kg}$;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,15 + 0,12 + 1,25 = 1,52 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.19 \text{ H/m}^3$;

Assentamento de parede de alvenaria interior: $34 \times 0,561 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,19 \text{ H/m}^2$; com factor andaime $1,19 \Rightarrow 1,4161 \text{ H/m}^2$;

Assentamento de parede de alvenaria exterior: $50 \times 0,414 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,29 \text{ H/m}^2$; com factor andaime $1,17 \Rightarrow 1,5093 \text{ H/m}^2$;

TABELA E-20, Orçamento de mão-de-obra de Piso 6

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m²,m³,kg)	Duração (dias)
Piso 6				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m²	25.38	0.99
Vigas, colocar armaduras	0.0688	h/10kg	1,255	1.08
Laje, cofragem	0.1938	h/m²	144.81	3.51
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	2,870	1.73
Vigas, betonagem	0.1800	h/m³	6.76	0.15
Laje, betonagem	0.1900	h/m³	31.69	0.75
Parede exterior, 290mm	1.5093	h/m²	130.07	24.54
P interior, 115mm	1.4161	h/m²	85.98	15.22
SOMA				47.97

15. PLANEAMENTO DA OBRA DE EDIFÍCIO MODELO POR PISO

FIGURA E-1, Gráfico de GANTT para a execução da obra de Fundação e Piso 1

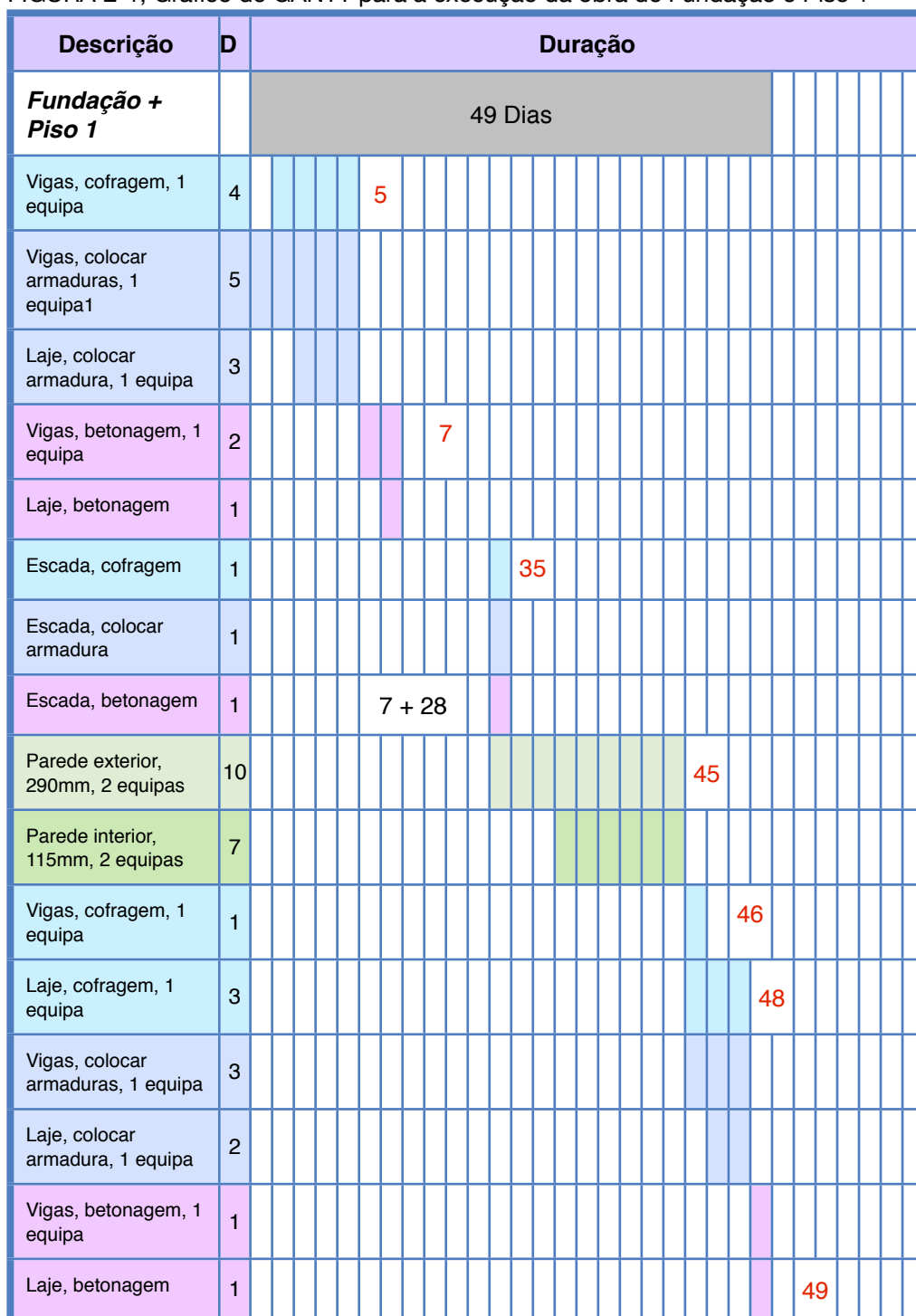
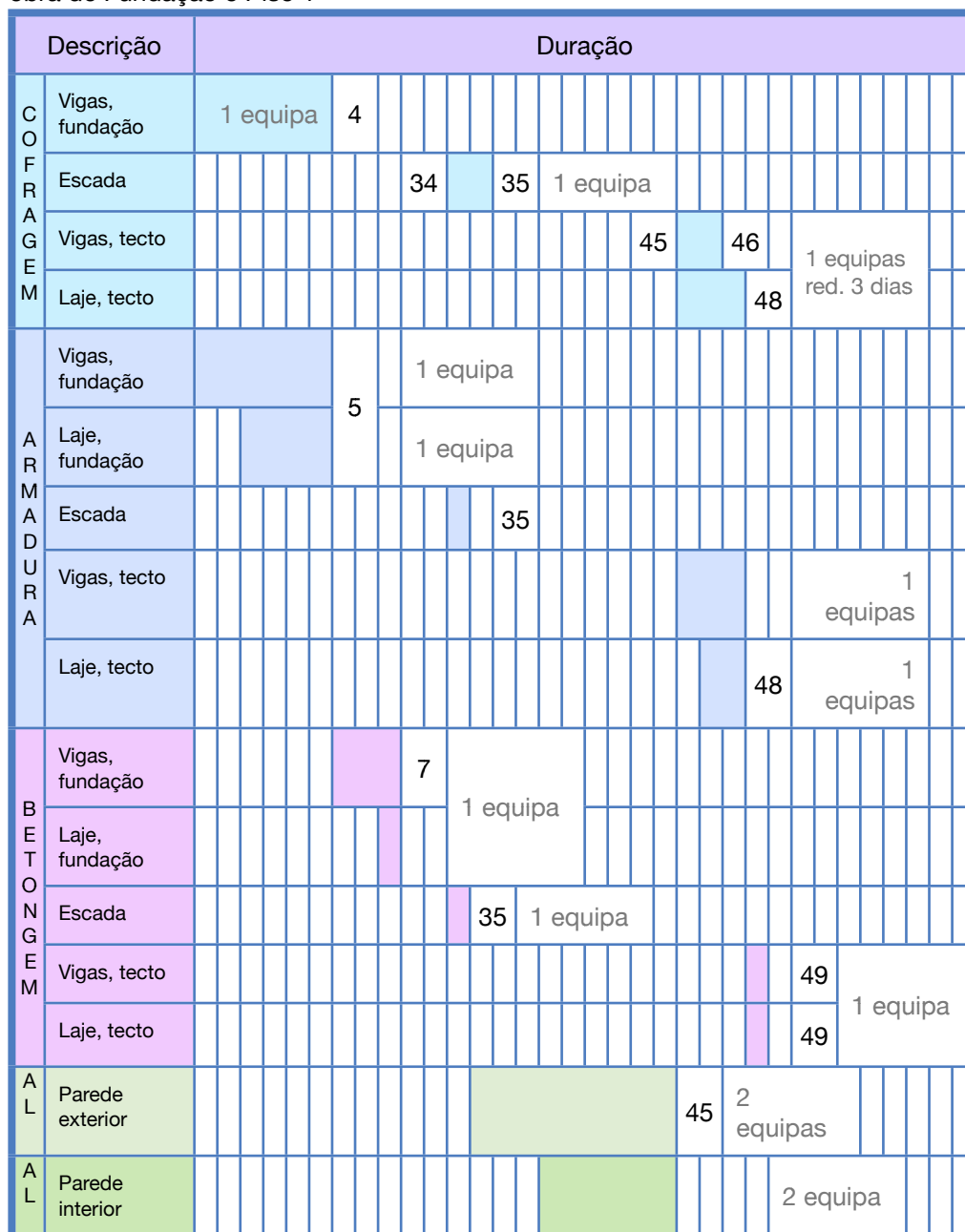


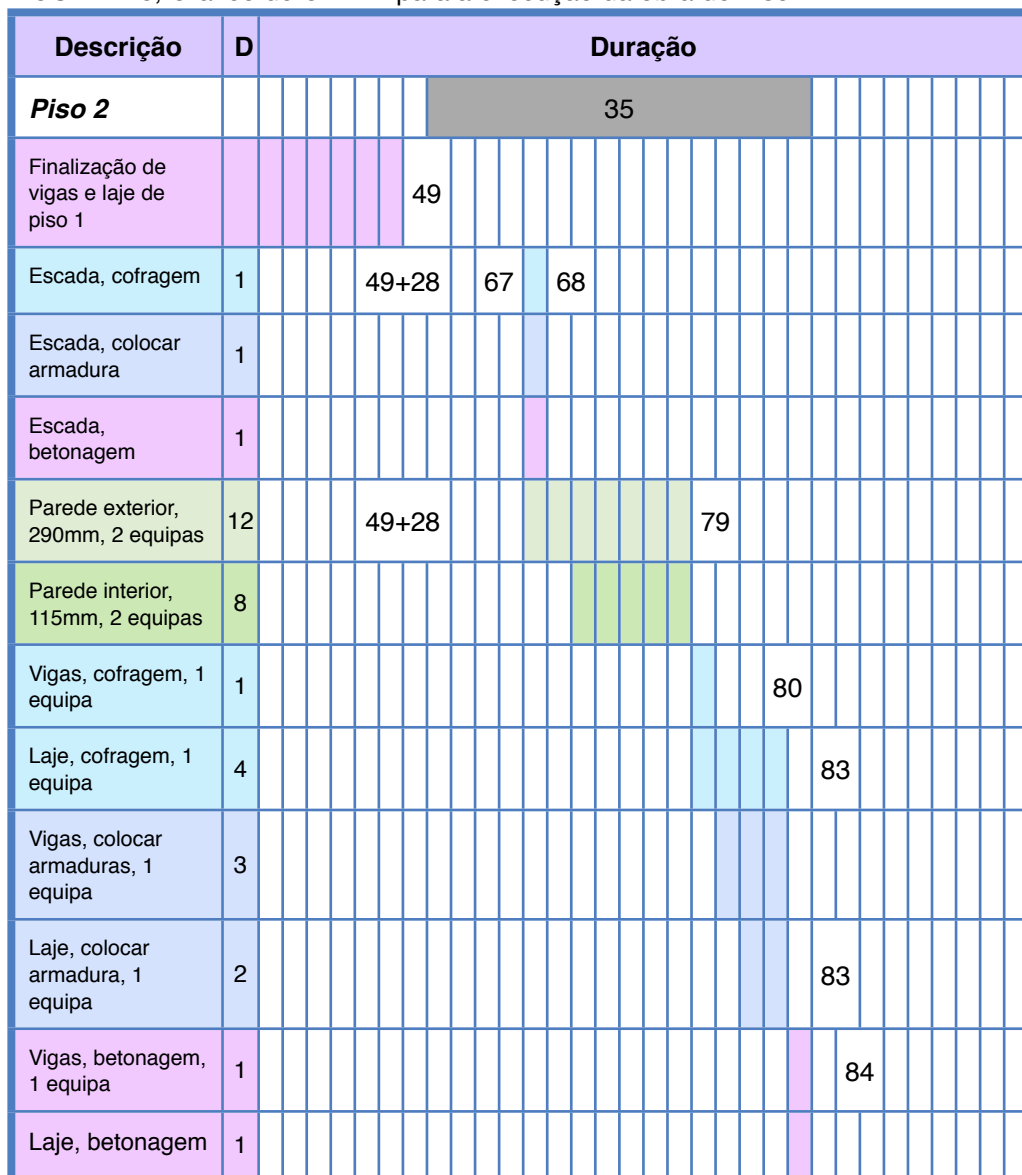
FIGURA E-2, Gráfico de GANTT para o planeamento dos recursos para execução de obra de Fundação e Piso 1



Resumo de recursos humanos para a execução de fundação e piso 1:

Cofragem: 1 equipas; 1 carpinteiro e 1 servente; 2 trabalhadores
 Armadura: 2 equipas; 1 serralheiro e 1 servente; 4 trabalhadores
 Betonagem: 1 equipa; 1 operário e 1 servente; 2 trabalhadores
 Alvenaria: 4 equipas; 1 pedreiro e 1 servente; 8 trabalhadores
 Total: 16 trabalhadores

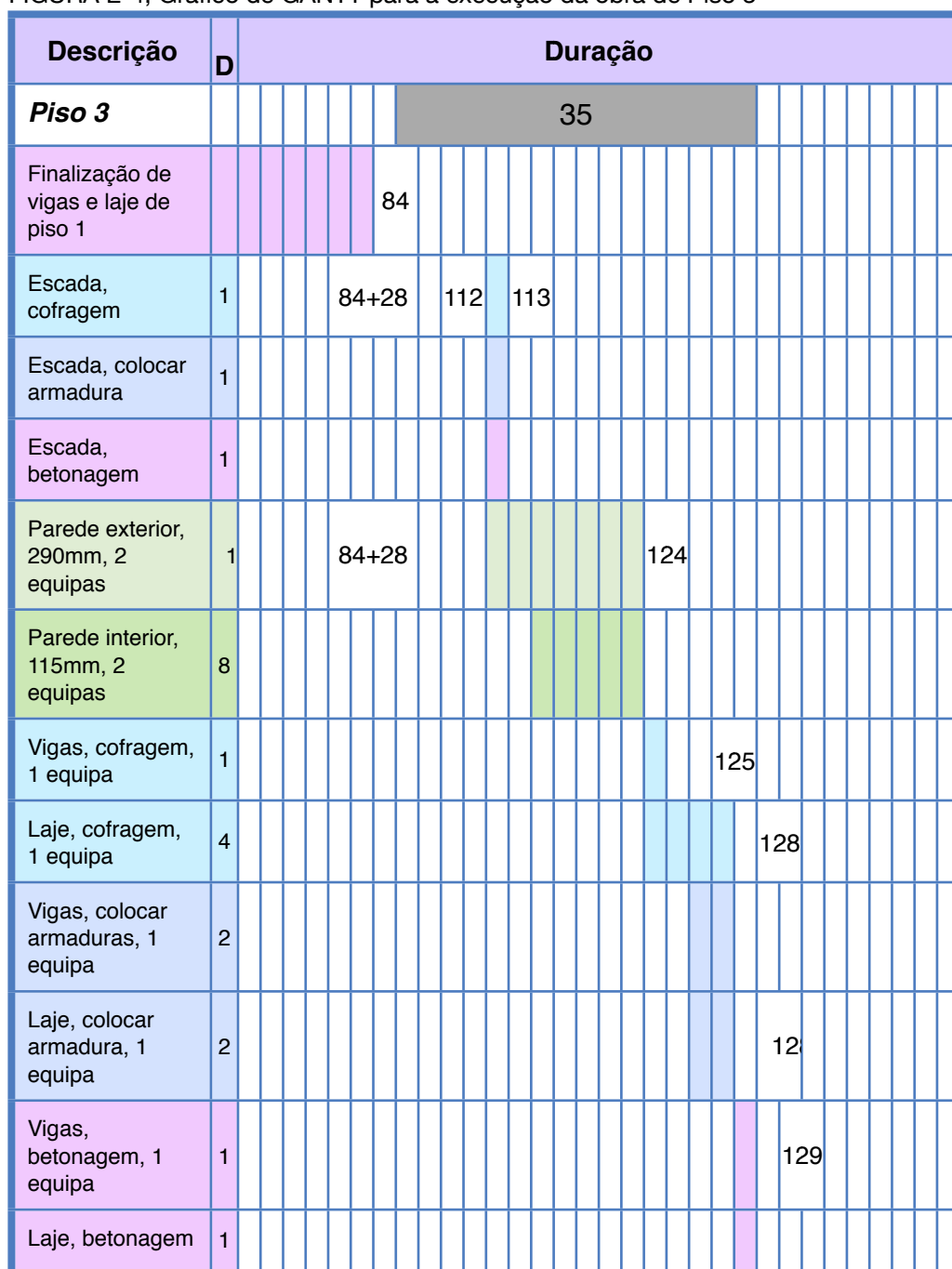
FIGURA E-3, Gráfico de GANTT para a execução da obra de Piso 2



Resumo de recursos humanos para a execução de piso 2:

Cofragem: 1 equipas; 1 carpinteiro e 1 servente; 2 trabalhadores
 Armadura: 2 equipas; 1 serralheiro e 1 servente; 4 trabalhadores
 Betonagem: 1 equipa; 1 operário e 1 servente; 2 trabalhadores
 Alvenaria: 4 equipas; 1 pedreiro e 1 servente; 8 trabalhadores
 Total: 16 trabalhadores

FIGURA E-4, Gráfico de GANTT para a execução da obra de Piso 3



Resumo de recursos humanos para a execução de piso 3:

Cofragem: 1 equipas; 1 carpinteiro e 1 servente; 2 trabalhadores
 Armadura: 2 equipas; 1 serralheiro e 1 servente; 4 trabalhadores
 Betonagem: 1 equipa; 1 operário e 1 servente; 2 trabalhadores
 Alvenaria: 4 equipas; 1 pedreiro e 1 servente; 8 trabalhadores
 Total: 16 trabalhadores

ANEXO F

QUANTIFICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL

1. QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂ NO FABRICO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO USADOS NAS UNIDADES FUNCIONAIS EM ESTRUTURA CONVENCIONAL

Parede exterior com um vão de 4 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

Alvenaria: $9,18\text{m}^2 \times 0,29\text{m} \times 1300\text{kg}/\text{m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	346,09 kgCO ₂
Argamassa: $9,18\text{m}^2 \times 60\text{kg}/\text{m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>117,32 kgCO₂</u>
Soma		463,41 kgCO ₂
Betão: $0,486\text{m}^3 \times 2375\text{kg}/\text{m}^3 \times 0,10\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	115,43 kgCO ₂
Aço: $99,13\text{kg} \times 1,71\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>169,50 kgCO₂</u>
Soma		<u>284,93 kgCO₂</u>
TOTAL		748,34 kgCO ₂

Parede exterior com um vão de 6 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

Alvenaria: $14,58\text{m}^2 \times 0,29\text{m} \times 1300\text{kg}/\text{m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	549,67 kgCO ₂
Argamassa: $14,58\text{m}^2 \times 60\text{kg}/\text{m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>186,33 kgCO₂</u>
Soma		736,00 kgCO ₂
Betão: $0,486\text{m}^3 \times 2375\text{kg}/\text{m}^3 \times 0,10\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	115,43 kgCO ₂
Aço: $99,13\text{kg} \times 1,71\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>169,50 kgCO₂</u>
Soma		<u>284,93 kgCO₂</u>
TOTAL		1020,93 kgCO ₂

Parede exterior com um vão de 7 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

Alvenaria: $17,28\text{m}^2 \times 0,29\text{m} \times 1300\text{kg}/\text{m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	651,46 kgCO ₂
Argamassa: $17,28\text{m}^2 \times 60\text{kg}/\text{m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>220,84 kgCO₂</u>
Soma		872,30 kgCO ₂
Betão: $0,486\text{m}^3 \times 2375\text{kg}/\text{m}^3 \times 0,10\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	115,43 kgCO ₂
Aço: $99,13\text{kg} \times 1,71\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>169,50 kgCO₂</u>
Soma		<u>284,93 kgCO₂</u>
TOTAL		1157,23 kgCO ₂

Parede interior com um vão de 4 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 15kg/m²

Alvenaria: $9,18\text{m}^2 \times 0,115\text{m} \times 1300\text{kg}/\text{m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	137,24 kgCO ₂
Argamassa: $9,18\text{m}^2 \times 15\text{kg}/\text{m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>29,33 kgCO₂</u>
Soma		166,57 kgCO ₂
Betão: $0,486\text{m}^3 \times 2375 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0,10\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	115,43 kgCO ₂
Aço: $99,13\text{kg} \times 1,71 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>169,50 kgCO₂</u>
Soma		<u>284,93 kgCO₂</u>
TOTAL		451,50 kgCO ₂

Parede interior com um vão de 6 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 15 kg/m²

Alvenaria: $14,58\text{m}^2 \times 0,115\text{m} \times 1300\text{kg}/\text{m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	217,97 kgCO ₂
Argamassa: $14,58\text{m}^2 \times 15\text{kg}/\text{m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>46,58 kgCO₂</u>
Soma		264,55 kgCO ₂
Betão: $0,486\text{m}^3 \times 2375 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0,10\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	115,43 kgCO ₂
Aço: $99,13\text{kg} \times 1,71 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>169,50 kgCO₂</u>
Soma		<u>284,93 kgCO₂</u>
TOTAL		549,48 kgCO ₂

Parede interior com um vão de 7 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 15 kg/m²

Alvenaria: $17,28\text{m}^2 \times 0,115\text{m} \times 1300\text{kg}/\text{m}^3 \times 0,1\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	258,34 kgCO ₂
Argamassa: $17,28\text{m}^2 \times 15\text{kg}/\text{m}^2 \times 0,213\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>55,21 kgCO₂</u>
Soma		313,55 kgCO ₂
Betão: $0,486\text{m}^3 \times 2375 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0,10\text{kgCO}_2/\text{kg}$	=	115,43 kgCO ₂
Aço: $99,13\text{kg} \times 1,71 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$	=	<u>169,50 kgCO₂</u>
Soma		<u>284,93 kgCO₂</u>
TOTAL		598,48 kgCO ₂

TABELA F-1, Indicador de emissões de CO₂ por volume de bloco cerâmico para as unidades funcionais

Unidades funcionais	Área (m ²)	Espessura (m)	Emissão CO ₂ (kgCO ₂)	Indicador (kgCO ₂ /m ³)
Exterior vão 4m	9.18	0.290	463.41	174.07
Exterior vão 6m	14.58	0.290	736.00	174.07
Exterior vão 7m	17.28	0.290	872.30	174.07
Interior vão 4m	9.18	0.115	166.57	157.78
Interior vão 6m	14.58	0.115	264.55	157.78
Interior vão 7m	17.28	0.115	313.55	157.78

TABELA F-2, Indicador de emissões de CO₂ por volume de betão armado para as unidades funcionais

Unidades funcionais	Volume (m ³)	Emissão CO ₂ (kgCO ₂)	Indicador (kgCO ₂ /m ³)
Pilar	0.486	284.93	586.28

2. QUANTIFICAÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA NA FÁBRICA DOS MATERIAIS USADOS NAS UNIDADES FUNCIONAIS EM ESTRUTURA CONVENCIONAL

Parede exterior com um vão de 4 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

Alvenaria: 9,18m ² x 0,29m x 1300kg/m ³ x 1,02MJ/kg	=	3772 MJ
Argamassa: 9,18m ² x 60 kg/m ² x 1,40MJ/kg	=	<u>771 MJ</u>
Soma		4301 MJ
Betão: 0,486m ³ x 2375 kg/m ³ x 0,81MJ/kg	=	935 MJ
Aço: 99,13kg x 24,60MJ/kg	=	<u>2439 MJ</u>
Soma		3374 MJ
TOTAL		7675 MJ

Parede exterior com um vão de 6 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

Alvenaria: 14,58m ² x 0,29m x 1300kg/m ³ x 1,02MJ/kg	=	5607 MJ
Argamassa: 14,58m ² x 60kg/m ² x 1,40MJ/kg	=	<u>1225 MJ</u>
Soma		6832 MJ
Betão: 0,486m ³ x 2375 kg/m ³ x 0,81MJ/kg	=	935 MJ
Aço: 99,13kg x 24,60MJ/kg	=	<u>2439 MJ</u>
Soma		<u>3374 MJ</u>
TOTAL		10206 MJ

Parede exterior com um vão de 7 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 60 kg/m², com interrupção de 5 cm na junta

Alvenaria: 17,28m ² x 0,29m x 1300kg/m ³ x 1,02MJ/kg	=	6645 MJ
Argamassa: 17,28m ² x 60kg/m ² x 1,40MJ/kg	=	<u>1452 MJ</u>
Soma		8097 MJ
Betão: 0,486m ³ x 2375 kg/m ³ x 0,81MJ/kg	=	935 MJ
Aço: 99,13kg x 24,60MJ/kg	=	<u>2439 MJ</u>
Soma		<u>3374 MJ</u>
TOTAL		11471 MJ

Parede interior com um vão de 4 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 15kg/m²

Alvenaria: 9,18m ² x 0,115m x 1300kg/m ³ x 1,02MJ/kg	=	1400 MJ
Argamassa: 9,18m ² x 15kg/m ² x 1,40MJ/kg	=	<u>193 MJ</u>
Soma		1593 MJ
Betão: 0,486m ³ x 2375 kg/m ³ x 0,81MJ/kg	=	935 MJ
Aço: 99,13kg x 24,60MJ/kg	=	<u>2439 MJ</u>
Soma		<u>3374 MJ</u>
TOTAL		4967 MJ

Parede interior com um vão de 6 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 15 kg/m²

Alvenaria: 14,58m ² x 0,115m x 1300kg/m ³ x 1,02MJ/kg	=	2223 MJ
Argamassa: 14,58m ² x 15kg/m ² x 1,40MJ/kg	=	<u>306 MJ</u>
Soma		2529 MJ
Betão: 0,486m ³ x 2375 kg/m ³ x 0,81MJ/kg	=	935 MJ
Aço: 99,13kg x 24,60MJ/kg	=	<u>2439 MJ</u>
Soma		<u>3374 MJ</u>
TOTAL		5903 MJ

Parede interior com um vão de 7 m, o pé direito de 2,70 m, argamassa de 15 kg/m²

Alvenaria: 17,28m ² x 0,115m x 1300kg/m ³ x 1,02MJ/kg	=	2635 MJ
Argamassa: 17,28m ² x 15kg/m ² x 1,40MJ/kg	=	<u>363 MJ</u>
Soma		2998 MJ
Betão: 0,486m ³ x 2375 kg/m ³ x 0,81MJ/kg	=	935 MJ
Aço: 99,13kg x 24,60MJ/kg	=	<u>2439 MJ</u>
Soma		3374 MJ
TOTAL		6372 MJ

TABELA F-3, Indicador de consumo de energia por volume de bloco cerâmico para as unidades funcionais

Unidades funcionais	Área (m ²)	Espessura (m)	Consumo de Energia (MJ)	Indicador (MJ/m ³)
Exterior vão 4m	9.18	0.290	4301	1,616
Exterior vão 6m	14.58	0.290	6832	1,616
Exterior vão 7m	17.28	0.290	8097	1,616
Interior vão 4m	9.18	0.115	1593	1,509
Interior vão 6m	14.58	0.115	2529	1,508
Interior vão 7m	17.28	0.115	2998	1,509

TABELA F-4, Indicador de consumo de energia por volume de betão armado para as unidades funcionais

Unidades funcionais	Volume (m ³)	Consumo de Energia (MJ)	Indicador (MJ/m ³)
Pilar	0.486	3374	6,942

3. QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂ NO FABRICO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO USADOS NO EDIFÍCIO MODELO COM A ESTRUTURA CONVENCIONAL

TABELA F-5, Quantificação de emissões de CO₂ na fábrica dos materiais de construção para o modelo ideal com a estrutura convencional

Descrição	Área/Volume (m ² ou m ³)	Peso específico (kg/m ³ ou m ²)	Emissão específica (kgCO ₂ /kg)	Emissão CO ₂ (kgCO ₂)
V0	57.82	2375	0.10	13,732
V1 - 6	66.14	2375	0.10	15,708
L0	26.93	2375	0.10	6,396
L1 - 6	204.09	2375	0.10	48,471
E1 - 6	8.84	2375	0.10	2,100
Pilares	31.84	2375	0.10	7,562
Aço, armadura	6.97	7700	1.710	91,774
PE1 - 6, 290mm	191.09	1300	0.100	24,842
PI1 - 6, 115mm	51.70	1300	0.100	6,721
AE 60kg/m ²	738.96	60	0.213	9,444
AI 15kg/m ²	489.98	15	0.213	1,565
SOMA				228,315

Nota: Para as quantidades e dimensões ver o Anexo C

Simbologia:

V0	Viga de Fundação
L0	Laje de betão maciça de fundação
V1 - 6	Vigas de pisos 1 á 6
E	Escada de betão armado
Pilares	Pilares
PE1 - 6	Parede exterior de alvenaria estrutural
PI1 - 6	Parede interior de alvenaria estrutural
AE	Argamassa para parede exterior, 60 kg/m ²
AI	Argamassa para parede interior, 15 kg/m ²

A quantidade dos materiais da construção para transportar são os valores de cálculo a cima mencionados:

Blocos cerâmicos, parede exterior	191,09 m ³	248 417 kg
Blocos cerâmicos, parede interior	51,70 m ²	67 210 kg
Betão para lajes maciças, vigas, pilares, escadas	395,66 m ³	939 693 kg
Aço, armaduras		53 675 kg
Argamassa 738,96 x 60 + 489,98 x 15 (m ² /kgm ²)		51 687 kg
Total de quantidade		1 360 682 kg

4. QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂ NO TRANSPORTE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

O valor significativo de produção de CO₂ no transporte com os camiões articulados para uma carga superior a 33 t é 0,929 kg CO₂/km.

Para o transporte de blocos cerâmicos considera-se que a fabrica mais próxima de Lisboa está a 70 km de distância e que fornece os tijolos com a qualidade térmica necessária para permitir uma justa comparação com o modelo de alvenaria estrutural da mesma qualidade. No cálculo deve ser considerado também o regresso do camião.

$$0,929 \text{ kg CO}_2 / \text{km} \times 70 \text{ km} \times 2 = 130,06 \text{ kg CO}_2$$

Na fábrica do tijolo 30x29x19, de parede exterior, há paletes de 890 kg com 64 unidades. Assim, um camião de 37 toneladas leva 41 paletes e com 248.417 kg de tijolo para a obra, tendo que realizar sete viagens para o transporte completo do material.

$$130,06 \text{ kg CO}_2 \times 7 = \underline{910,42 \text{ kg CO}_2}$$

Este valor dividido pelo peso total deste material dá 0,008 kgCO₂/kg. Em comparação, o valor de produção de CO₂ no fabrico do material é de 0,10 kgCO₂/kg verificando-se que o valor do factor transporte é muito mais pequeno mas não é desprezável.

Para o tijolo de 30x20x10,6, para a parede interior, há paletes de 1050 kg com 198 unidades. Um camião de 37 toneladas leva 35 paletes e com 67.210 kg de tijolo o camião faz duas viagens para o transporte completo do material.

$$130,06 \text{ kg CO}_2 \times 2 = \underline{260,12 \text{ kg CO}_2}$$

O fornecimento da central de betão pronto a distância máxima de 50 km com betoneiras rígidas, gera uma produção de CO₂ de 0,747 kg CO₂/km. Assim, em cada viagem (ida e volta) produz-se:

$$0,747 \text{ kg CO}_2 / \text{km} \times 50 \text{ km} \times 2 = 74,70 \text{ kg CO}_2$$

Com a quantidade de 939.693 kg de betão e considerando que a betoneira leva 12t, são necessárias 79 viagens para colocar o betão na obra:

$$74,70 \text{ kg CO}_2 \times 79 = \underline{5901,30 \text{ kg CO}_2}$$

O aço vem de Bilbao, siderurgia conhecida, a uma distancia de 900 km até Lisboa. Para a quantidade de 53.675 kg dois camiões rígidos com a carga completa servem para fornecer o aço todo.

$$0,747 \text{ kg CO}_2 / \text{km} \times 900 \text{ km} \times 2 = \underline{1344,60 \text{ kg CO}_2}$$

O cimento vem de Leiria a 200 km de distancia de cimenteira até à central do betão. A distancia da central de betão até a obra está incluída no cálculo de transporte de betão.

$$0,929 \text{ kg CO}_2 / \text{km} \times 200 \text{ km} \times 2 = 371,60 \text{ kg CO}_2$$

Consideramos que o cimento representa 14% no fabrico de betão armado, calcula-se que para 939.693 kg de betão são necessários 131.557 kg de cimento o que implica quatro transportes com um camião articulado.

$$371,60 \text{ kg CO}_2 \times 4 = \underline{1486,40 \text{ kg CO}_2}$$

A industria de fabrico de argamassa está a uma distancia de 30 km a Lisboa e com a quantidade estimada de 51.687 kg calcula-se que sejam necessários dois camiões de 37t.

$$0,929 \text{ kg CO}_2 / \text{km} \times 30 \text{ km} \times 2 \times 2 = \underline{111,48 \text{ kg CO}_2}$$

A soma dos valores sublinhados dá 10.014 kg CO₂ referentes à produção total de CO₂ no transporte dos materiais necessários para a construção da estrutura do modelo em construção convencional. O valor da produção de CO₂ pelo transporte relativamente ao valor de produção de CO₂ para o fabrico de material dá 228.315 kgCO₂, o que faz 4,39 %. Assim, resulta que para a construção do modelo em construção convencional a produção de CO₂ é no total 238.329 kg.

5. QUANTIFICAÇÃO DE ENERGIA INCORPORADA NO FABRICO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO USADOS NO MODELO IDEAL COM A ESTRUTURA CONVENCIONAL

TABELA F-6, Quantificação de energia incorporada no modelo ideal com a estrutura convencional

Descrição	Área/Volume (m ² ou m ³)	Peso especifico (kg/m ³ ou m ²)	Energia especifica (MJ/kg)	Energia incorporada (MJ)
V0	57.82	2375	0.81	111,231
V1 - 6	66.14	2375	0.81	127,237
L0	26.93	2375	0.81	51,807
L1 - 6	204.09	2375	0.81	392,618
E1 - 6	8.84	2375	0.81	17,006
Pilares	31.84	2375	0.81	61,252
Aço, armadura	6.97	7700	24.60	1,320,257
PE1 - 6, 290mm	191.09	1300	1.02	253,385
PI1 - 6, 115mm	51.70	1300	1.02	68,554
AE 60kg/m ²	738.96	60	1.40	62,073
AI 15kg/m ²	489.98	15	1.40	10,290
SOMA				2,475,710

Simbologia:

V0	Viga de Fundação
L0	Laje de betão maciça de fundação
V1 - 6	Vigas de pisos 1 á 6
E	Escada de betão armado
PE1 - 6	Parede exterior de alvenaria estrutural
PI1 - 6	Parede interior de alvenaria estrutural
AE	Argamassa para parede exterior, 60 kg/m ²
AI	Argamassa para parede interior, 15 kg/m ²

TABELA F-7, Quantificação de energia utilizada pelo o transporte dos materiais de construção para o edifício modelo com a estrutura convencional

Descrição	Peso (kg)	Distancia (km)	Energia específica (MJ/kg.km)	Energia (MJ)
Parede exterior	248,417	70	0.000402	6,990
Parede interior	67,210	70	0.000402	1,891
Betão	939,693	50	0.000402	18,888
Cimento	131,557	200	0.000402	10,577
Aço	53,675	900	0.000402	19,420
Argamassa	51,687	30	0.000402	623
SOMA				58,390

6. CUSTO DA PAREDE EXTERIOR COM UM VÃO DE 4 m

TABELA F-8, Orçamento da parede exterior com um vão de 4m

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
Pilar	Pilar rectangular ou quadrado de betão armado, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, quantidade 120 kg/m ³ , cofragem com chapas metálicas reutilizáveis, até 3 m de altura livre e 40x30 cm de secção média, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	0.48	m ³	310.16	148.88
Parede exterior	Parede, de meia vez de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x29x19 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	9.99	m ²	31.03	309.99
	TOTAL				458.87

7. CUSTO DA PAREDE EXTERIOR COM UM VÃO DE 6 m

TABELA F-9, Orçamento da parede exterior com um vão de 6m

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
Pilar	Pilar rectangular ou quadrado de betão armado, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, quantidade 120 kg/m ³ , cofragem com chapas metálicas reutilizáveis, até 3 m de altura livre e 40x30 cm de secção média, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	0.48	m ³	310.16	148.88
Parede exterior	Parede, de meia vez de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x29x19 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	15.39	m ²	31.03	477.55
	TOTAL				626.43

8. CUSTO DA PAREDE EXTERIOR COM UM VÃO DE 7 m

TABELA F-10, Orçamento da parede exterior com um vão de 7m

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
Pilar	Pilar rectangular ou quadrado de betão armado, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, quantidade 120 kg/m ³ , cofragem com chapas metálicas reutilizáveis, até 3 m de altura livre e 40x30 cm de secção média, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	0.48	m ³	310.16	148.88
Parede exterior	Parede, de meia vez de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x29x19 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	18.09	m ²	31.03	561.33
	TOTAL				710.21

9. CUSTO DA PAREDE INTERIOR COM UM VÃO DE 4 m

TABELA F-11, Orçamento da parede interior com um vão de 4m

Código	Designação	Quantidade	Unidade	Preço/Unidade	Preço €
Pilar	Pilar rectangular ou quadrado de betão armado, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, quantidade 120 kg/m³, cofragem com chapas metálicas reutilizáveis, até 3 m de altura livre e 40x30 cm de secção média, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	0.48	m³	310.16	148.88
Parede interior	Parede divisória, de um pano de 11 cm de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x20x11 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	9.99	m²	11.89	118.78
	TOTAL				267.66

10. CUSTO DA PAREDE INTERIOR COM UM VÃO DE 6 m

TABELA F-12, Orçamento da parede interior com um vão de 6m

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
Pilar	Pilar rectangular ou quadrado de betão armado, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, quantidade 120 kg/m³, cofragem com chapas metálicas reutilizáveis, até 3 m de altura livre e 40x30 cm de secção média, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	0.48	m³	310.16	148.88
Parede interior	Parede divisória, de um pano de 11 cm de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x20x11 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	15.39	m²	11.89	182.99
	TOTAL				331.86

11. CUSTO DA PAREDE INTERIOR COM UM VÃO DE 7 m

TABELA F-13, Orçamento da parede interior com um vão de 7m

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
Pilar	Pilar rectangular ou quadrado de betão armado, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, quantidade 120 kg/m³, cofragem com chapas metálicas reutilizáveis, até 3 m de altura livre e 40x30 cm de secção média, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	0.48	m³	310.16	148.88
Parede interior	Parede divisória, de um pano de 11 cm de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x20x11 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	18.09	m²	11.89	215.09
	TOTAL				363.97

12. RESUMO DE CUSTOS DAS UNIDADES FUNCIONAIS EM ESTRUTURA CONVENCIONAL (EUROS)

TABELA F-14, Resumo dos orçamentos das paredes exteriores e interiores

PAREDE	4 m	6 m	7 m
EXTERIOR	458.87	626.43	710.21
INTERIOR	267.66	331.86	363.97

13. ORÇAMENTO DA ESTRUTURA DE MÓDELO IDEAL EM CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL

TABELA F-15, Orçamento do modelo ideal

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
V0	Viga de fundação, betão C25/30 (XC1 (P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, quantidade 60 kg/m³, separador plástico rígido, 1 operário + 1 servente	57.82	m³	163.01	9,425.24
C0	Cofragem recuperável metálica em lintel para fundação, 1 operário + 1 servente	62.32	m²	13.37	833.22

Código	Designação	Quantidade	Un	Preço/Unidade	Preço €
L0	Laje maciça, horizontal, altura 30 cm; betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua; aço A400 NR, quantidade 22 kg/m², cofragem de madeira, até 3 m de altura livre de piso. Sem incluir repercussão de pilares, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	106.39	m²	82.94	8,823.99
V1-6	Viga alta de betão armado, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, quantidade 150 kg/m³, cofragem de madeira, até 3 m de altura livre de piso, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	66.14	m³	427.93	28,303.29
L1-6	Laje maciça, horizontal, altura 20 cm; betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua; aço A400 NR, quantidade 22 kg/m², cofragem de madeira, até 3 m de altura livre de piso. Sem incluir repercussão de pilares, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	816.33	m²	78.43	64,024.76
Pilares 1-6	Pilar rectangular ou quadrado de betão armado, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, quantidade 120 kg/m³, cofragem com chapas metálicas reutilizáveis, até 3 m de altura livre e 40x30 cm de secção média, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	31.84	m³	310.16	9,875.49
E1-6	Laje de escada, betão C25/30 (XC1(P); D12; S2; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, aço A400 NR, 18 kg/m², e=15 cm, cofragem de madeira, com degraus de betão, separador plástico rígido, 1 operário + 2 servente	50.51	m²	106.40	5,374.26
PE1-6	Parede, de meia vez de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x29x19 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	738.96	m²	31.03	22,929.93
PI1-6	Parede divisória, de um pano de 11 cm de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico perfurado para revestir, 30x20x11 cm, assente com argamassa de cimento M-5, 1 operário + 1 servente	489.98	m²	11.89	5,825.86
	TOTAL				155,416.04

14. QUANTIFICAÇÃO DE DURAÇÃO DA OBRA DE EDIFÍCIO MODELO POR PISO E NA TOTALIDADE

FUNDAÇÃO

Cofragem vigas: $2,5 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura vigas: $0,534 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0668 \text{ H/10kg}$;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,025 + 0,12 + 1,17 = 1,315 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1644 \text{ H/m}^3$;

Colocação de armadura lajes: $0,385 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0481 \text{ H/10kg}$;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,025 + 0,12 + 1,25 = 1,395 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1744 \text{ H/m}^3$;

TABELA F-16, Duração da construção da Fundação

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade $\text{m}^2, \text{m}^3, \text{kg}$	Duração dias
Fundação				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m^2	62.32	2.43
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	5,514	4.60
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	2,752	1.65
Vigas, betonagem	0.1644	h/m^3	57.82	1.19
Laje, betonagem	0.1744	h/m^3	26.93	0.59
SOMA				10.47

PISO 1

Cofragem vigas: $2,5 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura vigas: $0,534 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0668 \text{ H/10kg}$;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,025 + 0,12 + 1,17 = 1,315 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1644 \text{ H/m}^3$;

Cofragem lajes: $1,55 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1938 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura lajes: $0,385 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0481 \text{ H/10kg}$;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,025 + 0,12 + 1,25 = 1,395 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1744 \text{ H/m}^3$;

Cofragem pilares: $2,25 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,28125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura pilares: $0,445 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0556 \text{ H/10kg}$;

Betonagem pilares: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,025 + 0,12 + 2,95 = 3,095 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3869 \text{ H/m}^3$;

Cofragem escada: $2,9 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3625 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura escada: $0,491 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0614 \text{ H/10kg}$;

Betonagem escada: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,025 + 0,12 + 2,25 = 2,395 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,2994 \text{ H/m}^3$;

Assentamento de parede de alvenaria interior: $34 \times 0,561 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,19 \text{ H/m}^2$;

Assentamento de parede de alvenaria exterior: $50 \times 0,414 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,29 \text{ H/m}^2$;

TABELA F-17, Duração de construção da estrutura do Piso 1

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m ² ,m ³ ,kg)	Duração (dias)
Piso 1				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m ²	24.73	0.97
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	3,688	3.08
Laje, cofragem	0.1938	h/m ²	135.11	3.27
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	4,862	2.92
Vigas, betonagem	0.1644	h/m ³	11.10	0.23
Laje, betonagem	0.1744	h/m ³	33.78	0.74
Pilares, cofragem	0.28125	h/m ²	69.40	2.44
Pilares, colocar armadura	0.0556	h/10kg	3,566	2.48
Pilares, betonagem	0.3869	h/m ³	7.45	0.36
Escada, cofragem	0.3625	h/m ²	12.03	0.55
Escada, colocar armadura	0.0614	h/10kg	126	0.10
Escada, betonagem	0.2994	h/m ³	1.92	0.07
Parede exterior, 290mm	1.29	h/m ²	123.16	19.86
Parede interior, 106mm	1.19	h/m ²	81.66	12.15
SOMA				49.20

PISO 2

Cofragem vigas: $2,5 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura vigas: $0,534 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0668 \text{ H/10kg}$;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,05 + 0,12 + 1,17 = 1,34 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1675 \text{ H/m}^3$;

Cofragem lajes: $1,55 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1938 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura lajes: $0,385 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0481 \text{ H/10kg}$;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,05 + 0,12 + 1,25 = 1,42 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1775 \text{ H/m}^3$;

Cofragem pilares: $2,25 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,28125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura pilares: $0,445 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0556 \text{ H/10kg}$;

Betonagem pilares: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,05 + 0,12 + 2,95 = 3,12 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,39 \text{ H/m}^3$;

Cofragem escada: $2,9 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3625 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura escada: $0,491 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0614 \text{ H/10kg}$;

Betonagem escada: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,05 + 0,12 + 2,25 = 2,42 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3025 \text{ H/m}^3$;

Assentamento de parede de alvenaria interior: $34 \times 0,561 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,19 \text{ H/m}^2$; com factor andaime $1,19 \Rightarrow 1,4161 \text{ H/m}^2$;

Assentamento de parede de alvenaria exterior: $50 \times 0,414 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,29 \text{ H/m}^2$; com factor andaime $1,17 \Rightarrow 1,5093 \text{ H/m}^2$;

TABELA F-18, Duração de construção da estrutura do Piso 2

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m ² ,m ³ ,kg)	Duração (dias)
Piso 2				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m ²	24.80	0.97
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	3,056	2.55
Laje, cofragem	0.1938	h/m ²	135.13	3.27
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	4,470	2.69
Vigas, betonagem	0.1675	h/m ³	11.05	0.23
Laje, betonagem	0.1775	h/m ³	33.78	0.75
Pilares, cofragem	0.28125	h/m ²	51.90	1.82
Pilares, colocar armadura	0.0556	h/10kg	1,443	1.00
Pilares, betonagem	0.3900	h/m ³	5.37	0.26
Escada, cofragem	0.3625	h/m ²	9.62	0.44
Escada, colocar armadura	0.0614	h/10kg	125	0.10
Escada, betonagem	0.3025	h/m ³	1.73	0.07
Parede exterior, 290mm	1.5093	h/m ²	123.16	23.24
Parede interior, 106mm	1.4161	h/m ²	81.66	14.45
SOMA				51.84

PISO 3

Cofragem vigas: $2,5 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura vigas: $0,534 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0668 \text{ H/10kg}$;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,075 + 0,12 + 1,17 = 1,365 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1706 \text{ H/m}^3$;

Cofragem lajes: $1,55 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1938 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura lajes: $0,385 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0481 \text{ H/10kg}$;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,075 + 0,12 + 1,25 = 1,445 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1806 \text{ H/m}^3$;

Cofragem pilares: $2,25 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,28125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura pilares: $0,445 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0556 \text{ H/10kg}$;

Betonagem pilares: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =

$0,075 + 0,12 + 2,95 = 3,145 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.3931 \text{ H/m}^3$;

Cofragem escada: $2,9 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3625 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura escada: $0,491 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0614 \text{ H/10kg}$;

Betonagem escada: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,075 + 0,12 + 2,25 = 2,445 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.3056 \text{ H/m}^3$;

Assentamento de parede de alvenaria interior: $34 \times 0,561 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,19 \text{ H/m}^2$; com factor andaime $1,19 \Rightarrow 1,4161 \text{ H/m}^2$;

Assentamento de parede de alvenaria exterior: $50 \times 0,414 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,29 \text{ H/m}^2$; com factor andaime $1,17 \Rightarrow 1,5093 \text{ H/m}^2$;

TABELA F-19, Duração de construção da estrutura do Piso 3

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m ² ,m ³ ,kg)	Duração (dias)
Piso 3				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m ²	24.89	0.97
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	2,566	2.14
Laje, cofragem	0.1938	h/m ²	135.15	3.27
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	4,027	2.42
Vigas, betonagem	0.1706	h/m ³	11.05	0.24
Laje, betonagem	0.1806	h/m ³	33.79	0.76
Pilares, cofragem	0.28125	h/m ²	50.40	1.77
Pilares, colocar armadura	0.0556	h/10kg	1,192	0.83
Pilares, betonagem	0.3931	h/m ³	5.04	0.25
Escada, cofragem	0.3625	h/m ²	9.62	0.44
Escada, colocar armadura	0.0614	h/10kg	125	0.10
Escada, betonagem	0.3056	h/m ³	1.73	0.07
Parede exterior, 290mm	1.5093	h/m ²	123.16	23.24
Parede interior, 106mm	1.4161	h/m ²	81.66	14.45
SOMA				50.94

PISO 4

Cofragem vigas: $2,5 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura vigas: $0,534 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0668 \text{ H/10kg}$;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,1 + 0,12 + 1,17 = 1,39 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.17375 \text{ H/m}^3$;

Cofragem lajes: $1,55 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1938 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura lajes: $0,385 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0481 \text{ H/10kg}$;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,1 + 0,12 + 1,25 = 1,47 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.18375 \text{ H/m}^3$;

Cofragem pilares: $2,25 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,28125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura pilares: 0,445 Hxh/10kg; 1 equipa => 0,0556 H/10kg;

Betonagem pilares: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =
 $0,1 + 0,12 + 2,95 = 3,17 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa => 0.39625 H/m³;

Cofragem escada: 2,9 Hxh/m²; 1 equipa => 0,3625 H/m²;

Colocação de armadura escada: 0,491 Hxh/10kg; 1 equipa => 0,0614 H/10kg;

Betonagem escada: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =
 $0,1 + 0,12 + 2,25 = 2,47 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa => 0.30875 H/m³;

Assentamento de parede de alvenaria interior: 34 x 0,561 Hxh/m²; 1 equipa => 1,19 H/m²; com
factor andaime 1,19 => 1,4161 H/m²;

Assentamento de parede de alvenaria exterior: 50 x 0,414 Hxh/m²; 1 equipa => 1,29 H/m²;
com factor andaime 1,17 => 1,5093 H/m²;

TABELA F-20, Duração de construção da estrutura do Piso 4

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m ² ,m ³ ,kg)	Duração (dias)
Piso 4				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m ²	24.98	0.98
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	1,941	1.62
Laje, cofragem	0.1938	h/m ²	135.15	3.27
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	3,547	2.13
Vigas, betonagem	0.17375	h/m ³	11.05	0.24
Laje, betonagem	0.18375	h/m ³	33.79	0.78
Pilares, cofragem	0.28125	h/m ²	48.20	1.69
Pilares, colocar armadura	0.0556	h/10kg	1,044	0.73
Pilares, betonagem	0.39625	h/m ³	4.66	0.23
Escada, cofragem	0.3625	h/m ²	9.62	0.44
Escada, colocar armadura	0.0614	h/10kg	125	0.10
Escada, betonagem	0.30875	h/m ³	1.73	0.07
Parede exterior, 290mm	1.5093	h/m ²	123.16	23.24
Parede interior, 106mm	1.4161	h/m ²	81.66	14.45
SOMA				49.96

PISO 5

Cofragem vigas: 2,5 Hxh/m²; 1 equipa => 0,3125 H/m²;

Colocação de armadura vigas: 0,534 Hxh/10kg; 1 equipa => 0,0668 H/10kg;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação =
 $0,125 + 0,12 + 1,17 = 1,415 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa => 0.1769 H/m³;

Cofragem lajes: 1,55 Hxh/m²; 1 equipa => 0,1938 H/m²;

Colocação de armadura lajes: 0,385 Hxh/10kg; 1 equipa => 0,0481 H/10kg;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,125 + 0,12 + 1,25 = 1,495 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa => 0.1869 H/m^3 ;

Cofragem pilares: $2,25 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa => $0,28125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura pilares: $0,445 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa => $0,0556 \text{ H/10kg}$;

Betonagem pilares: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,125 + 0,12 + 2,95 = 3,195 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa => 0.3994 H/m^3 ;

Cofragem escada: $2,9 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa => $0,3625 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura escada: $0,491 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa => $0,0614 \text{ H/10kg}$;

Betonagem escada: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,125 + 0,12 + 2,25 = 2,495 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa => 0.3119 H/m^3 ;

Assentamento de parede de alvenaria interior: $34 \times 0,561 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa => $1,19 \text{ H/m}^2$; com factor andaime $1,19 \Rightarrow 1,4161 \text{ H/m}^2$;

Assentamento de parede de alvenaria exterior: $50 \times 0,414 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa => $1,29 \text{ H/m}^2$; com factor andaime $1,17 \Rightarrow 1,5093 \text{ H/m}^2$;

TABELA F-21, Duração de construção da estrutura do Piso 5

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade (m ² ,m ³ ,kg)	Duração (dias)
Piso 5				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m ²	24.98	0.98
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	1,381	1.15
Laje, cofragem	0.1938	h/m ²	135.15	3.27
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	3,223	1.94
Vigas, betonagem	0.1769	h/m ³	11.05	0.24
Laje, betonagem	0.1869	h/m ³	33.79	0.79
Pilares, cofragem	0.28125	h/m ²	48.20	1.69
Pilares, colocar armadura	0.0556	h/10kg	799	0.56
Pilares, betonagem	0.3994	h/m ³	4.66	0.23
Escada, cofragem	0.3625	h/m ²	9.62	0.44
Escada, colocar armadura	0.0614	h/10kg	125	0.10
Escada, betonagem	0.3119	h/m ³	1.73	0.07
Parede exterior, 290mm	1.5093	h/m ²	123.16	23.24
Parede interior, 106mm	1.4161	h/m ²	81.66	14.45
SOMA				49.15

PISO 6

Cofragem vigas: $2,5 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,3125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura vigas: $0,534 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0668 \text{ H/10kg}$;

Betonagem vigas: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,15 + 0,12 + 1,17 = 1,44 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.18 \text{ H/m}^3$;

Cofragem lajes: $1,55 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,1938 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura lajes: $0,385 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0481 \text{ H/10kg}$;

Betonagem lajes: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,15 + 0,12 + 1,25 = 1,52 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.19 \text{ H/m}^3$;

Cofragem pilares: $2,25 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 0,28125 \text{ H/m}^2$;

Colocação de armadura pilares: $0,445 \text{ Hxh/10kg}$; 1 equipa $\Rightarrow 0,0556 \text{ H/10kg}$;

Betonagem pilares: Transporte vertical + transporte horizontal + aplicação = $0,15 + 0,12 + 2,95 = 3,22 \text{ Hxh/m}^3$; 1 equipa $\Rightarrow 0.4025 \text{ H/m}^3$;

Assentamento de parede de alvenaria interior: $34 \times 0,561 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,19 \text{ H/m}^2$; com factor andaime $1,19 \Rightarrow 1,4161 \text{ H/m}^2$;

Assentamento de parede de alvenaria exterior: $50 \times 0,414 \text{ Hxh/m}^2$; 1 equipa $\Rightarrow 1,29 \text{ H/m}^2$; com factor andaime $1,17 \Rightarrow 1,5093 \text{ H/m}^2$;

TABELA F-22, Duração de construção da estrutura do Piso 6

Descrição	Rendimento	Unidades	Quantidade $\text{m}^2, \text{m}^3, \text{kg}$	Duração dias
Piso 6				
Vigas, cofragem	0.3125	h/m^2	24.45	0.96
Vigas, colocar armaduras	0.0668	h/10kg	757	0.63
Laje, cofragem	0.1938	h/m^2	140.64	3.41
Laje, colocar armadura	0.0481	h/10kg	2,678	1.61
Vigas, betonagem	0.1800	h/m^3	10.84	0.24
Laje, betonagem	0.1900	h/m^3	35.16	0.84
Pilares, cofragem	0.28125	h/m^2	48.20	1.69
Pilares, colocar armadura	0.0556	h/10kg	543	0.38
Pilares, betonagem	0.4025	h/m^3	4.66	0.23
Parede exterior, 290mm	1.5093	h/m^2	123.16	23.24
Parede interior, 106mm	1.4161	h/m^2	81.66	14.45
SOMA				47.68

15. PLANEAMENTO DA OBRA DE EDIFÍCIO MODELO POR PISO

FIGURA F-1, Gráfico de GANTT para a execução da obra de Fundação e Piso 1

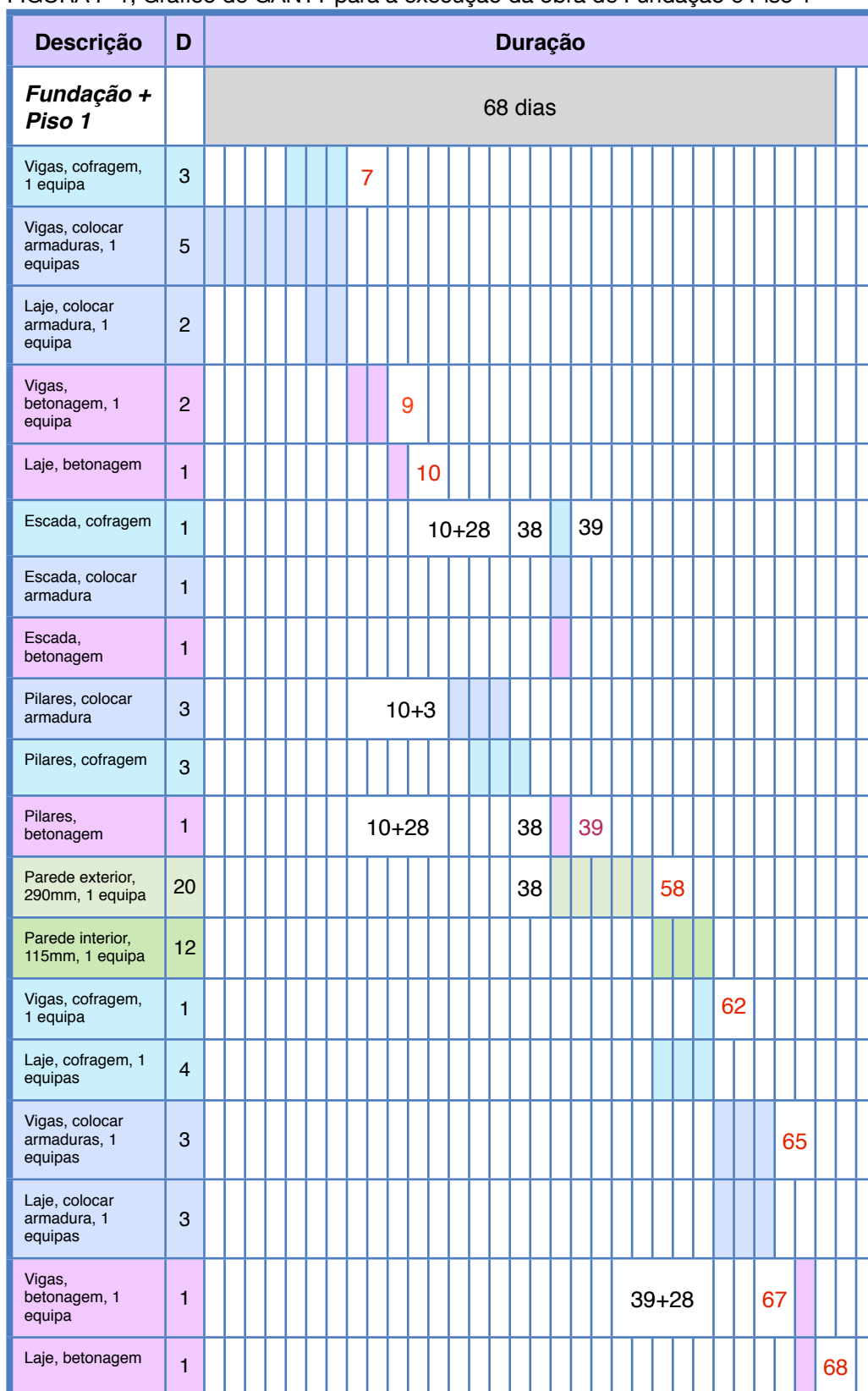
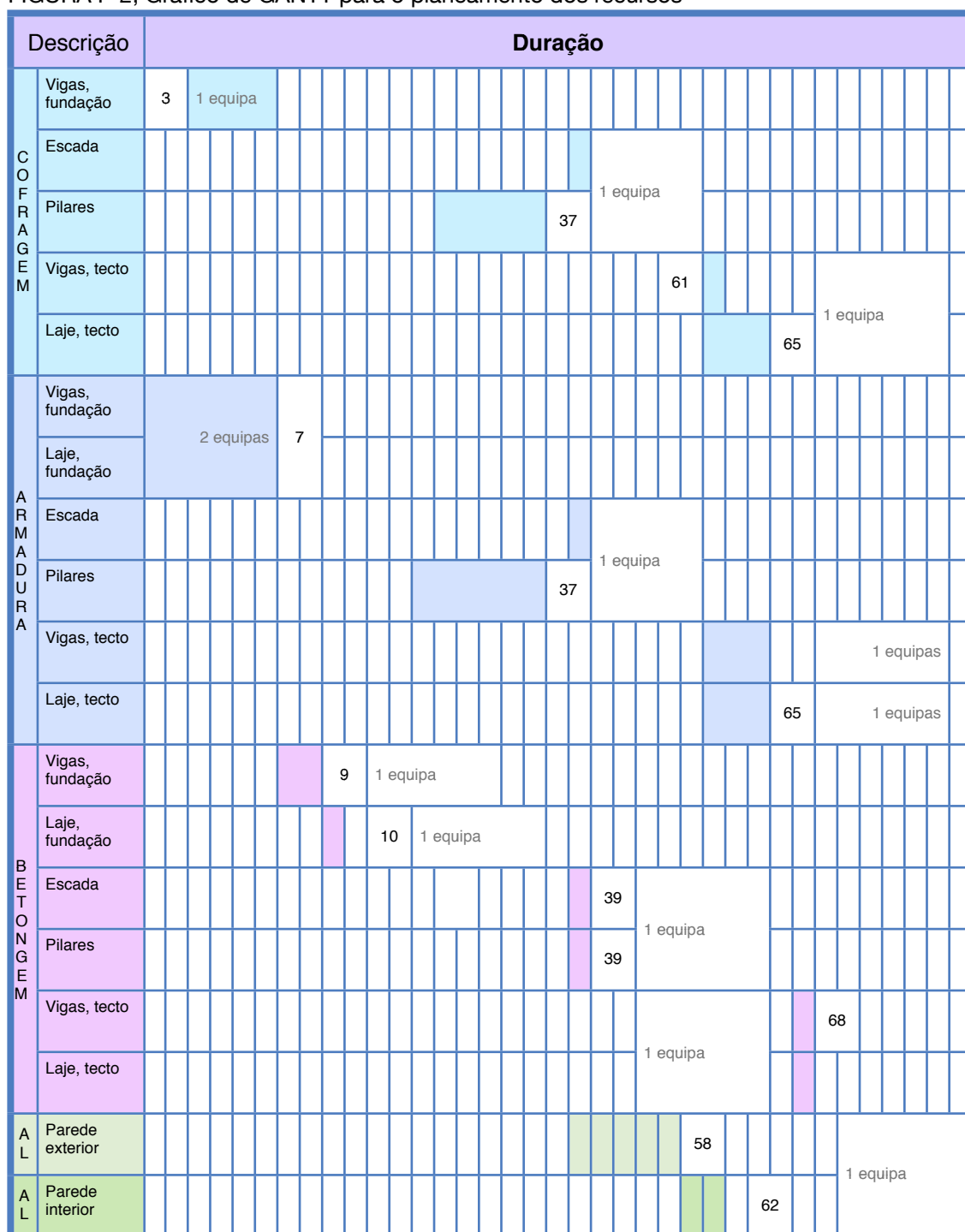


FIGURA F-2, Gráfico de GANTT para o planeamento dos recursos



Resumo de recursos humanos:

Cofragem:	1 equipa;	1 carpinteiro e 1 servente;	2 trabalhadores
Armadura:	2 equipas;	1 serralheiro e 1 servente;	4 trabalhadores
Betonagem:	1 equipa;	1 operário e 1 servente;	2 trabalhadores
Alvenaria:	1 equipa;	1 pedreiro e 1 servente;	2 trabalhadores
Total:			10 trabalhadores

TABELA F-23, Orçamento de mão-de-obra de Fundação e Piso 1

Descrição	Duração (dias)	Custo mão-de-obra média (euro/h)	Custo (euro)
Fundação + Piso 1			
Cofragem	12	7.21	692.16
Armadura	17	8.00	1,088.00
Betonagem	7	7.32	409.92
Assentamento parede exterior	20	7.23	1,156.80
Assentamento parede interior	12	7.19	690.24
SOMA	68		4,037.12

FIGURA F-3, Gráfico de GANTT para a execução da obra de Piso 2

Descrição	D	Duração																					
Piso 2																							
Finalização de vigas e laje de piso 1																							
Escada, cofragem	1																						
Escada, colocar armadura	1																						
Escada, betonagem	1																						
Pilares, colocar armadura	1																						
Pilares, cofragem	2																						
Pilares, betonagem	1																						
Parede exterior, 290mm, 1 equipa	24																						
P interior, 115mm, 1 equipa	15																						
Vigas, cofragem, 1 equipa	1																						
Laje, cofragem, 1 equipa	4																						
Vigas, colocar armaduras, 1 equipa	3																						
Laje, colocar armadura, 1 equipa	3																						
Vigas, betonagem, 1 equipa	1																						
Laje, betonagem	1																						

Resumo de recursos humanos:

Cofragem:	1 equipa;	1 carpinteiro e 1 servente;	2 trabalhadores
Armadura:	2 equipas;	1 serralheiro e 1 servente;	4 trabalhadores
Betonagem:	1 equipa;	1 operário e 1 servente;	2 trabalhadores
Alvenaria:	2 equipas;	1 pedreiro e 1 servente;	4 trabalhadores
Total:			12 trabalhadores

TABELA F-24, Orçamento de mão-de-obra de Fundação e Piso 2

Descrição	Duração (dias)	Custo mão-de-obra (euro/h)	Custo (euro)
Piso 2			
Cofragem	8	7.21	461.44
Armadura	8	8.00	512.00
Betonagem	4	7.32	234.24
Assentamento parede exterior	24	7.23	1,388.16
Assentamento parede interior	15	7.19	862.80
SOMA	59		3,458.64

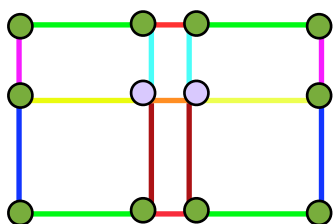
FIGURA F-4, Gráfico de GANTT para a execução da obra de Piso 3

Descrição	D	Duração																							
Piso 3																									
Finalização de vigas e laje de piso 2																									
Escada, cofragem	1																								
Escada, colocar armadura	1																								
Escada, betonagem	1																								
Pilares, colocar armadura	1																								
Pilares, cofragem	2																								
Pilares, betonagem	1																								
Parede exterior, 290mm, 1 equipa	24																								
P interior, 115mm, 1 equipa	15																								
Vigas, cofragem, 1 equipa	1																								
Laje, cofragem, 1 equipa	4																								
Vigas, colocar armaduras, 1 equipa	3																								
Laje, colocar armadura, 1 equipa	3																								
Vigas, betonagem, 1 equipa	1																								
Laje, betonagem	1																								

ANEXO G

QUANTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, DA ENERGIA INCORPORADA E DA EMISSÃO DE CO₂, NAS VARIAS HIPÓTESES DO EDIFÍCIO MODELO

EDIFÍCIO 1, MODELO SIMPLES



SIMBOLOGIA

Parede exterior vão 2m:



Parede exterior vão 4m:



Parede exterior vão 6m:



Parede exterior vão 7m:



Parede interior vão 2m:



Parede interior vão 4m:



Parede interior vão 6m:



Parede interior vão 7m:



Pilar exterior:



Pilar interior:



TABELA G-1, Quantificação de material de construção para um piso no edifício modelo em construção convencional

PILARES/PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PILAR EXTERIOR	10	0.30	0.30	2.70	2.43
PAREDE EXTERIOR, VÃO 2 m	2	0.290	1.70	2.70	2.66
PAREDE EXTERIOR, VÃO 4 m	2	0.290	3.70	2.70	5.79
PAREDE EXTERIOR, VÃO 6 m	2	0.290	5.70	2.70	8.93
PAREDE EXTERIOR, VÃO 7 m	4	0.290	6.70	2.70	20.98
TOTAL PAREDE					38.37
TOTAL EXTERIOR					40.80
RÁCIO PILAR/PAREDE					6.33
PILAR INTERIOR	2	0.30	0.30	2.70	0.49
PAREDE INTERIOR, VÃO 2 m	1	0.106	1.70	2.70	0.49
PAREDE INTERIOR, VÃO 4 m	2	0.106	3.70	2.70	2.12
PAREDE INTERIOR, VÃO 6 m	2	0.106	5.70	2.70	3.26
PAREDE INTERIOR, VÃO 7 m	2	0.106	6.70	2.70	3.84
TOTAL PAREDE					9.70
TOTAL INTERIOR					10.19
RÁCIO PILAR/PAREDE					5.01

TABELA G-2, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo em construção convencional

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO ₂ /m³)	Emissão CO ₂ (kgCO ₂)
Pilar exterior	2.43	586.28	1424.66
Parede exterior	38.37	174.07	6679.07
Pilar interior	0.49	586.28	287.28
Parede interior	9.7	99.64	966.51
TOTAL	50.99		9357.51

TABELA G-3, Quantificação do consumo de energia num piso do edifício modelo em construção convencional

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Pilar exterior	2.43	6942	16869
Parede exterior	38.37	1616	62006
Pilar interior	0.49	6942	3402
Parede interior	9.7	907	8798
TOTAL	50.99		91074

TABELA G-4, Quantificação do material de construção num piso do edifício modelo em alvenaria estrutural

PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PAREDE EXTERIOR n.c.	2	0.290	16.30	2.70	25.53
PAREDE EXTERIOR n.l.	2	0.290	9.70	2.70	15.19
PAREDE INTERIOR n.c.	1	0.115	15.70	2.70	4.87
PAREDE INTERIOR n.l.	2	0.115	9.60	2.70	5.96
TOTAL PAREDE EXTERIOR					40.72
TOTAL PAREDE INTERIOR					10.84
TOTAL PAREDE					51.55

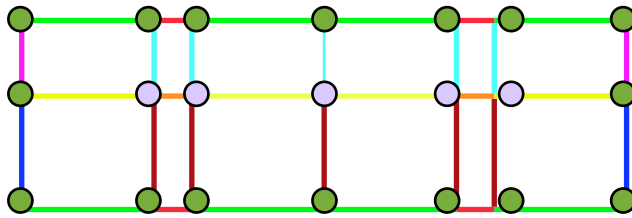
TABELA G-5, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo em alvenaria estrutural

PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO₂/m³)	Emissão CO₂ (kgCO₂)
Parede exterior	40.72	174.07	7088.13
Parede interior	10.84	157.78	1710.34
TOTAL	51.56		8798.47

TABELA G-6, Quantificação do consumo de energia num piso do edifício modelo em alvenaria estrutural

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Parede exterior	40.72	1616	65804
Parede interior	10.84	1509	16358
TOTAL	51.56		82161

EDIFÍCIO 2, MODELO DUPLICADO NO COMPRIMENTO



SIMBOLOGIA

Parede exterior vão 2m:



Parede exterior vão 4m:



Parede exterior vão 6m:



Parede exterior vão 7m:



Parede interior vão 2m:



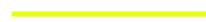
Parede interior vão 4m:



Parede interior vão 6m:



Parede interior vão 7m:



Pilar exterior:



Pilar interior:



TABELA G-7, Quantificação do material de construção num piso do edifício modelo duplicado no comprimento em construção convencional

PILARES/PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PILAR EXTERIOR	16	0.30	0.30	2.70	3.89
PAREDE EXTERIOR, VÃO 2 m	4	0.290	1.70	2.70	5.32
PAREDE EXTERIOR, VÃO 4 m	2	0.290	3.70	2.70	5.79
PAREDE EXTERIOR, VÃO 6 m	2	0.290	5.70	2.70	8.93
PAREDE EXTERIOR, VÃO 7 m	8	0.290	6.70	2.70	41.97
TOTAL PAREDE					62.01
TOTAL EXTERIOR					65.90
RÁCIO PILAR/PAREDE					6.27
PILAR INTERIOR	5	0.30	0.30	2.70	1.22
PAREDE INTERIOR, VÃO 2 m	2	0.106	1.70	2.70	0.97
PAREDE INTERIOR, VÃO 4 m	5	0.106	3.70	2.70	5.29
PAREDE INTERIOR, VÃO 6 m	5	0.106	5.70	2.70	8.16
PAREDE INTERIOR, VÃO 7 m	4	0.106	6.70	2.70	7.67
TOTAL PAREDE					22.09
TOTAL INTERIOR					23.31
RÁCIO PILAR/PAREDE					5.50

TABELA G-8, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo duplicado no comprimento em construção convencional

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO ₂ /m³)	Emissão CO ₂ (kgCO ₂)
Pilar exterior	3.89	586.28	2280.63
Parede exterior	62.01	174.07	10794.08
Pilar interior	1.22	586.28	715.26
Parede interior	22.09	99.64	2201.05
TOTAL	89.21		15991.02

TABELA G-9, Quantificação do consumo de energia de um piso de edifício modelo duplicado no comprimento em construção convencional

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Pilar exterior	3.89	6942	27004
Parede exterior	62.01	1616	100208
Pilar interior	1.22	6942	8469
Parede interior	22.09	907	20036
TOTAL	89.21		155717

TABELA G-10, Quantificação do material de construção num piso do edifício modelo duplicado no comprimento em alvenaria estrutural

PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PAREDE EXTERIOR n.c.	2	0.290	32.30	2.70	50.58
PAREDE EXTERIOR n.l.	2	0.290	9.70	2.70	15.19
PAREDE INTERIOR n.c.	2	0.115	15.70	2.70	9.75
PAREDE INTERIOR n.l.	5	0.115	9.60	2.70	14.90
TOTAL PAREDE EXTERIOR					65.77
TOTAL PAREDE INTERIOR					24.65
TOTAL PAREDE					90.43

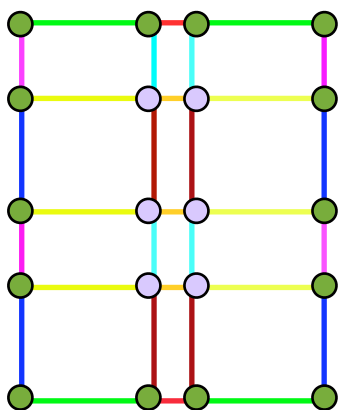
TABELA G-11, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo duplicado no comprimento em alvenaria estrutural

PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO₂/m³)	Emissão CO₂ (kgCO₂)
Parede exterior	65.77	174.07	11448.58
Parede interior	24.65	157.78	3889.28
TOTAL	90.42		15337.86

TABELA G-12, Quantificação do consumo de energia num piso do edifício modelo duplicado no comprimento em alvenaria estrutural

PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Parede exterior	65.77	1616	106284
Parede interior	24.65	1509	37197
TOTAL	90.42		143481

EDIFÍCIO 3, MODELO DUPLICADO NA LARGURA



SIMBOLOGIA

Parede exterior vão 2m:



Parede exterior vão 4m:



Parede exterior vão 6m:



Parede exterior vão 7m:



Parede interior vão 2m:



Parede interior vão 4m:



Parede interior vão 6m:



Parede interior vão 7m:



Pilar exterior:



Pilar interior:



TABELA G-13, Quantificação do material de construção num piso do edifício modelo duplicado na largura em construção convencional

PILARES/PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PILAR EXTERIOR	14	0.30	0.30	2.70	3.40
PAREDE EXTERIOR, VÃO 2 m	2	0.290	1.70	2.70	2.66
PAREDE EXTERIOR, VÃO 4 m	4	0.290	3.70	2.70	11.59
PAREDE EXTERIOR, VÃO 6 m	4	0.290	5.70	2.70	17.85
PAREDE EXTERIOR, VÃO 7 m	4	0.290	6.70	2.70	20.98
TOTAL PAREDE					53.09
TOTAL EXTERIOR					56.49
RÁCIO PILAR/PAREDE					6.41
PILAR INTERIOR	6	0.30	0.30	2.70	1.46
PAREDE INTERIOR, VÃO 2 m	3	0.106	1.70	2.70	1.46
PAREDE INTERIOR, VÃO 4 m	4	0.106	3.70	2.70	4.24
PAREDE INTERIOR, VÃO 6 m	4	0.106	5.70	2.70	6.53
PAREDE INTERIOR, VÃO 7 m	6	0.106	6.70	2.70	11.51
TOTAL PAREDE					23.73
TOTAL INTERIOR					25.18
RÁCIO PILAR/PAREDE					6.15

TABELA G-14, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo duplicado na largura em construção convencional

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO ₂ /m³)	Emissão CO ₂ (kgCO ₂)
Pilar exterior	3.40	586.28	1993.35
Parede exterior	53.09	174.07	9241.38
Pilar interior	1.46	586.28	855.97
Parede interior	23.73	99.64	2364.46
TOTAL	81.68		14455.15

TABELA G-15, Quantificação do consumo de energia num piso do edifício modelo duplicado na largura em construção convencional

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Pilar exterior	3.40	6942	23603
Parede exterior	53.09	1616	85793
Pilar interior	1.46	6942	10135
Parede interior	23.73	907	21523
TOTAL	81.68		141055

TABELA G-16, Quantificação do material de construção num piso do edifício modelo duplicado na largura em alvenaria estrutural

PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PAREDE EXTERIOR n.c.	2	0.290	16.30	2.70	25.53
PAREDE EXTERIOR n.l.	2	0.290	19.70	2.70	30.85
PAREDE INTERIOR n.c.	3	0.115	15.70	2.70	14.62
PAREDE INTERIOR n.l.	4	0.115	9.60	2.70	11.92
TOTAL PAREDE EXTERIOR					56.38
TOTAL PAREDE INTERIOR					26.55
TOTAL PAREDE					82.92

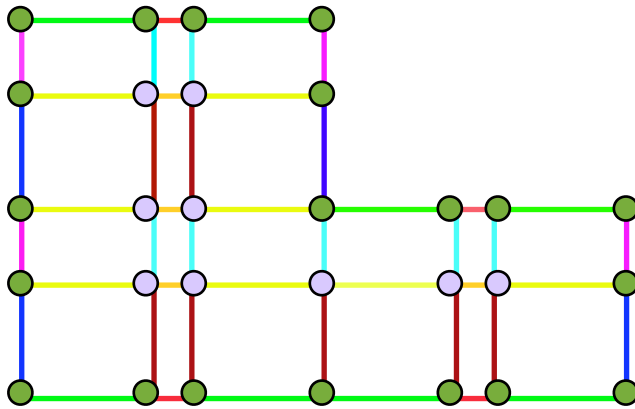
TABELA G-17, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo duplicado na largura em alvenaria estrutural

PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO₂/m³)	Emissão CO₂ (kgCO₂)
Parede exterior	56.38	174.07	9814.07
Parede interior	26.55	157.78	4189.06
TOTAL	82.93		14003.13

TABELA G-18, Quantificação de consumo de energia de um piso de edifício modelo duplicado na largura em alvenaria estrutural

PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Parede exterior	56.38	1616	91110
Parede interior	26.55	1509	40064
TOTAL	82.93		131174

EDIFÍCIO 4, MODELO TRIPLICADO



SIMBOLOGIA

Parede exterior vão 2m:



Parede exterior vão 4m:



Parede exterior vão 6m:



Parede exterior vão 7m:



Parede interior vão 2m:



Parede interior vão 4m:



Parede interior vão 6m:



Parede interior vão 7m:



Pilar exterior:



Pilar interior:



TABELA G-19, Quantificação do material de construção num piso do edifício modelo triplicado em construção convencional

PILARES/PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PILAR EXTERIOR	20	0.30	0.30	2.70	4.86
PAREDE EXTERIOR, VÃO 2 m	4	0.290	1.70	2.70	5.32
PAREDE EXTERIOR, VÃO 4 m	4	0.290	3.70	2.70	11.59
PAREDE EXTERIOR, VÃO 6 m	4	0.290	5.70	2.70	17.85
PAREDE EXTERIOR, VÃO 7 m	8	0.290	6.70	2.70	41.97
TOTAL PAREDE					76.73
TOTAL EXTERIOR					81.59
RÁCIO PILAR/PAREDE					6.33
PILAR INTERIOR	9	0.30	0.30	2.70	2.19
PAREDE INTERIOR, VÃO 2 m	4	0.106	1.70	2.70	1.95
PAREDE INTERIOR, VÃO 4 m	7	0.106	3.70	2.70	7.41
PAREDE INTERIOR, VÃO 6 m	7	0.106	5.70	2.70	11.42
PAREDE INTERIOR, VÃO 7 m	8	0.106	6.70	2.70	15.34
TOTAL PAREDE					36.12
TOTAL INTERIOR					38.31
RÁCIO PILAR/PAREDE					6.06

TABELA G-20, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo triplicado em construção convencional

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO ₂ /m³)	Emissão CO ₂ (kgCO ₂)
Pilar exterior	4.86	586.28	2849.32
Parede exterior	76.73	174.07	13356.39
Pilar interior	2.19	586.28	1283.95
Parede interior	36.12	99.64	3599.00
TOTAL	119.9		21088.66

TABELA G-21, Quantificação do consumo de energia num piso do edifício modelo triplicado em construção convencional

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Pilar exterior	4.86	6942	33738
Parede exterior	76.73	1616	123996
Pilar interior	2.19	6942	15203
Parede interior	36.12	907	32761
TOTAL	119.9		205698

TABELA G-22, Quantificação do material de construção num piso do edifício modelo triplicado em alvenaria estrutural

PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PAREDE EXTERIOR n.c.	2	0.290	32.30	2.70	50.58
PAREDE EXTERIOR n.l.	2	0.290	19.70	2.70	30.85
PAREDE INTERIOR n.c.	4	0.115	15.70	2.70	19.50
PAREDE INTERIOR n.l.	7	0.115	9.60	2.70	20.87
TOTAL PAREDE EXTERIOR					81.43
TOTAL PAREDE INTERIOR					40.37
TOTAL PAREDE					121.80

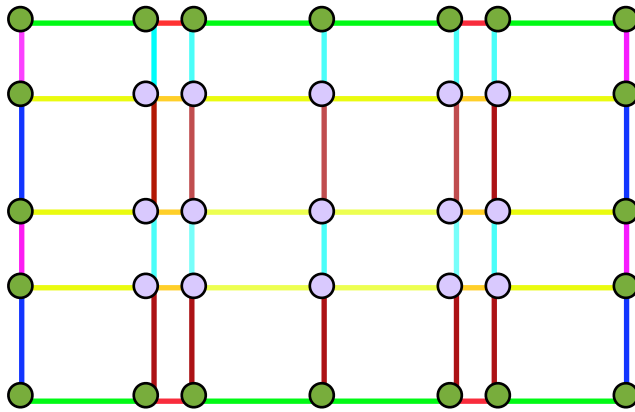
TABELA G-23, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo triplicado em alvenaria estrutural

PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO₂/m³)	Emissão CO₂ (kgCO₂)
Parede exterior	81.43	174.07	14,174.52
Parede interior	40.37	157.78	6,369.58
TOTAL	121.80		20,544.10

TABELA G-24, Quantificação do consumo de energia num piso do edifício modelo triplicado em alvenaria estrutural

PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Parede exterior	81.43	1616	131,591
Parede interior	40.37	1509	60,918
TOTAL	121.80		192,509

EDIFÍCIO 5, MODELO QUADRUPLICADO



SIMBOLOGIA

Parede exterior vão 2m:



Parede exterior vão 4m:



Parede exterior vão 6m:



Parede exterior vão 7m:



Parede interior vão 2m:



Parede interior vão 4m:



Parede interior vão 6m:



Parede interior vão 7m:



Pilar exterior:



Pilar interior:



TABELA G-25, Quantificação do material de construção num piso do edifício modelo quadruplicado em construção convencional

PILARES/PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PILAR EXTERIOR	20	0.30	0.30	2.70	4.86
PAREDE EXTERIOR, VÃO 2 m	4	0.290	1.70	2.70	5.32
PAREDE EXTERIOR, VÃO 4 m	4	0.290	3.70	2.70	11.59
PAREDE EXTERIOR, VÃO 6 m	4	0.290	5.70	2.70	17.85
PAREDE EXTERIOR, VÃO 7 m	8	0.290	6.70	2.70	41.97
TOTAL PAREDE					76.73
TOTAL EXTERIOR					81.59
RÁCIO PILAR/PAREDE					6.33
PILAR INTERIOR	15	0.30	0.30	2.70	3.65
PAREDE INTERIOR, VÃO 2 m	6	0.106	1.70	2.70	2.92
PAREDE INTERIOR, VÃO 4 m	10	0.106	3.70	2.70	10.59
PAREDE INTERIOR, VÃO 6 m	10	0.106	5.70	2.70	16.31
PAREDE INTERIOR, VÃO 7 m	12	0.106	6.70	2.70	23.01
TOTAL PAREDE					52.83
TOTAL INTERIOR					56.48
RÁCIO PILAR/PAREDE					6.90

TABELA G-26, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo quadruplicado em construção convencional

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO ₂ /m³)	Emissão CO ₂ (kgCO ₂)
Pilar exterior	4.86	586.28	2849.32
Parede exterior	76.73	174.07	13356.39
Pilar interior	3.65	586.28	2139.92
Parede interior	52.83	99.64	5263.98
TOTAL	138.07		23609.62

TABELA G-27, Quantificação do consumo de energia num piso do edifício modelo quadruplicado em construção convencional

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Pilar exterior	4.86	6942	33738
Parede exterior	76.73	1616	123996
Pilar interior	3.65	6942	25338
Parede interior	52.83	907	47917
TOTAL	138.07		230989

TABELA G-28, Quantificação do material de construção num piso do edifício modelo quadruplicado em alvenaria estrutural

PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PAREDE EXTERIOR n.c.	2	0.290	32.30	2.70	50.58
PAREDE EXTERIOR n.l.	2	0.290	19.70	2.70	30.85
PAREDE INTERIOR n.c.	6	0.115	15.70	2.70	29.25
PAREDE INTERIOR n.l.	10	0.115	9.60	2.70	29.81
TOTAL PAREDE EXTERIOR					81.43
TOTAL PAREDE INTERIOR					59.06
TOTAL PAREDE					140.49

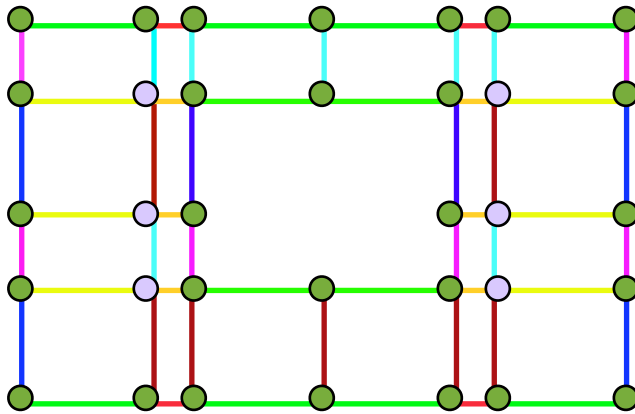
TABELA G-29, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo quadruplicado em alvenaria estrutural

PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO₂/m³)	Emissão CO₂ (kgCO₂)
Parede exterior	81.43	174.07	14,174.52
Parede interior	59.06	157.78	9,318.49
TOTAL	140.49		23,493.01

TABELA G-30, Quantificação do consumo de energia num piso do edifício modelo quadruplicado em alvenaria estrutural

PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Parede exterior	81.43	1616	131,591
Parede interior	59.06	1509	89,122
TOTAL	140.49		220,712

EDIFÍCIO 5a, MODELO QUADRUPLICADO COM PÁTIO



SIMBOLOGIA

Parede exterior vão 2m:



Parede exterior vão 4m:



Parede exterior vão 6m:



Parede exterior vão 7m:



Parede interior vão 2m:



Parede interior vão 4m:



Parede interior vão 6m:



Parede interior vão 7m:



Pilar exterior:



Pilar interior:



TABELA G-31, Quantificação do material de construção num piso do edifício modelo quadruplicado com pátio em construção convencional

PILARES/PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PILAR EXTERIOR	28	0.30	0.30	2.70	6.80
PAREDE EXTERIOR, VÃO 2 m	4	0.290	1.70	2.70	5.32
PAREDE EXTERIOR, VÃO 4 m	6	0.290	3.70	2.70	17.38
PAREDE EXTERIOR, VÃO 6 m	6	0.290	5.70	2.70	26.78
PAREDE EXTERIOR, VÃO 7 m	12	0.290	6.70	2.70	62.95
TOTAL PAREDE					112.44
TOTAL EXTERIOR					119.24
RÁCIO PILAR/PAREDE					6.05
PILAR INTERIOR	6	0.30	0.30	2.70	1.46
PAREDE INTERIOR, VÃO 2 m	6	0.106	1.70	2.70	2.92
PAREDE INTERIOR, VÃO 4 m	7	0.106	3.70	2.70	7.41
PAREDE INTERIOR, VÃO 6 m	7	0.106	5.70	2.70	11.42
PAREDE INTERIOR, VÃO 7 m	6	0.106	6.70	2.70	11.51
TOTAL PAREDE					33.26
TOTAL INTERIOR					34.71
RÁCIO PILAR/PAREDE					4.38

TABELA G-32, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo quadruplicado com pátio em construção convencional

PILAR/PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO ₂ /m³)	Emissão CO ₂ (kgCO ₂)
Pilar exterior	6.80	586.28	3986.70
Parede exterior	112.44	174.07	19572.43
Pilar interior	1.46	586.28	855.97
Parede interior	33.26	99.64	3314.03
TOTAL	153.96		27729.13

TABELA G-33, Quantificação do consumo de energia num piso do edifício modelo quadruplicado com pátio em construção convencional

PILAR/ PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Pilar exterior	6.80	6942	47206
Parede exterior	112.44	1616	181703
Pilar interior	1.46	6942	10135
Parede interior	33.26	907	30167
TOTAL	153.96		269211

TABELA G-34, Quantificação do material de construção num piso do edifício modelo quadruplicado com pátio em alvenaria estrutural

PAREDES	Q	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m³)
PAREDE EXTERIOR n.c.	2	0.290	32.30	2.70	50.58
PAREDE EXTERIOR n.c. pátio	2	0.290	14.12	2.70	22.10
PAREDE EXTERIOR n.l.	2	0.290	19.70	2.70	30.85
PAREDE EXTERIOR n.l. pátio	2	0.290	9.70	2.70	15.19
PAREDE INTERIOR n.c.	6	0.115	8.70	2.70	16.21
PAREDE INTERIOR n.l.	4	0.115	9.60	2.70	11.92
PAREDE INTERIOR n.l.	6	0.115	3.70	2.70	6.89
TOTAL PAREDE EXTERIOR					118.73
TOTAL PAREDE INTERIOR					35.02
TOTAL PAREDE					153.75

TABELA G-35, Quantificação de emissões de CO₂ num piso do edifício modelo quadruplicado com pátio em alvenaria estrutural

PAREDE	Volume (m³)	Indicador (kgCO₂/m³)	Emissão CO₂ (kgCO₂)
Parede exterior	118.73	174.07	20,667.33
Parede interior	35.02	157.78	5,525.46
TOTAL	153.75		26,192.79

TABELA G-36, Quantificação do consumo de energia num piso do edifício modelo quadruplicado com pátio em alvenaria estrutural

PAREDE	Volume (m³)	Indicador (MJ)	Consumo de Energia (MJ)
Parede exterior	118.73	1616	191,868
Parede interior	35.02	1509	52,845
TOTAL	153.75		244,713

ANEXO H

“ANÁLISE DE CICLO DE VIDA”¹

“A Organização Internacional para a Normalização (ISO) criou em 1992 um comité técnico (TC 207/SC 5) tendo em vista a normalização de um número de abordagens de gestão ambiental, incluindo ACV (Tibor e Feldman, 1996). Até ao momento foram publicadas as seguintes normas relacionadas com ACV:

ISO 14040: 1997	Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework
ISO 14041: 1998	Environmental management -- Life cycle assessment -- Goal and scope definition and inventory analysis
ISO 14042: 2000	Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle impact assessment
ISO 14043: 2000	Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle interpretation
ISO/TR 14049: 2000	Environmental management -- Life cycle assessment -- Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis
ISO/TS 14048: 2002	Environmental management -- Life cycle assessment -- Data documentation format
ISO/TR 14047: 2003	Environmental management -- Life cycle impact assessment -- Examples of application of ISO 14042

¹ JOSÉ VICENTE RODRIGUES FERREIRA, PUBLICAÇÃO DO INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU EM 2004

O conceito de ciclo de vida tem-se estendido para além de um simples método para comparar produtos, sendo actualmente visto como uma parte essencial para conseguir objectivos mais abrangentes, tais como sustentabilidade (Curran, 1999). A interligação dos sistemas de produto, que não se limitam por fronteiras geográficas, requer que se continue a desenvolver a metodologia ACV a um nível internacional.”

“Para análise do inventário, e de acordo com a norma ISO 14040, devem ser recolhidos os dados qualitativos e quantitativos para cada processo unitário que esteja incluído dentro dos limites do sistema. A recolha de dados é feita em dois tipos de fluxos de entrada e de saída, conforme se ilustra na Fig. 4.3, sendo um processo complexo e intensivo em recursos, podendo os procedimentos adoptados variar com o âmbito, o sistema e a aplicação pretendida para a ACV (Heijungs et al., 1992).

O sistema internacional de unidades, SI pode ser utilizado para exprimir todas as emissões e extracções (Heijungs et al., 1992): a maioria das emissões e recursos podem ser expressas em kg ou seus derivados (ton., mg,...); os dados de energia podem ser expressos em kw, MJ.

De acordo com o “Code of Practice” (Consoli et al., 1993) os dados devem ser obtidos das empresas que operam os processos específicos, a menos que algo em contrário seja referido nos objectivos e âmbito do estudo. Quando estes dados não estão disponíveis, podem ser utilizados dados de outras fontes potenciais, tais como: dados de projecto dos processos; cálculos de engenharia baseados na química e tecnologia dos processos; estimativas de operações similares; e bases de dados publicadas.

Os dados devem ser baseados num período de tempo, que seja suficientemente longo, para atenuar comportamentos anormais, tais como paragens de máquinas ou perturbações no processo. O período de tempo equivalente a um ano fiscal, para o qual estão disponíveis a maioria dos dados dos processos de produção, é considerado suficiente, para contemplar todos os comportamentos anormais que possam existir ao nível dos processos (SETAC, 1991; Vigon et al., 1992).”

“Devem ser bem documentadas as bases de todos os dados, assim como a sua fonte, relevância geográfica e temporal, técnicas utilizadas para ponderação e determinação dos valores médios. A qualidade dos dados deve ser consistente com os objectivos e âmbito do estudo ACV.

Os dados são apresentados num formato normalizado, ou seja, são apresentados em relação a uma dada unidade de saída, para cada operação unitária do subsistema e, para a qual deve ser elaborado um balanço de massa e energético.

Dada a exigência de consistência é internacionalmente aceite que o balanço de massa e de energia para cada processo deve ser completo, ou seja, que (SETAC, 1992):

$$\sum m_{e,i} = \sum m_{s,j} \quad 4-1 \text{ ij}$$

onde: $m_{e,i}$ - representa a massa da entrada i ; $m_{s,j}$ - representa a massa da saída j .E,

$$\sum E_{e,i} = \sum E_{s,j} \quad 4-2 \text{ ij}$$

onde: $E_{e,i}$ - representa a energia da entrada i ; $E_{s,j}$ - representa a energia da saída j .”